



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CAMPUS AGRESTE
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

LEANDRO DE LIMA MORAIS

**USO DE SIMULAÇÃO EM UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE
RADIOATIVIDADE**

Caruaru

2022

LEANDRO DE LIMA MORAIS

**USO DE SIMULAÇÃO EM UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE
RADIOATIVIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Licenciatura em
Química do Campus Agreste da Universidade
Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade
de monografia, como requisito parcial para a
obtenção do grau de Licenciado em Química.

Área de concentração: Ensino de Química

Orientador (a): Flávia Cristina Gomes Catunda de Vasconcelos

Caruaru

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Morais, Leandro de Lima.

Uso de simulação em uma sequência didática para o ensino de
radioatividade / Leandro de Lima Moraes. - Caruaru, 2022.

84 p. : il.

Orientador(a): Flávia Cristina Gomes Catunda de Vasconcelos
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Química - Licenciatura, 2022.

Inclui referências, apêndices.

1. Ensino de Química. 2. Simulação. 3. Radioatividade. 4. Representação. 5.
Visualização. I. Vasconcelos, Flávia Cristina Gomes Catunda de . (Orientação).
II. Título.

370 CDD (22.ed.)

LEANDRO DE LIMA MORAIS

**USO DE SIMULAÇÃO EM UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE
RADIOATIVIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Licenciatura em
Química do Campus Agreste da Universidade
Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade
de monografia, como requisito parcial para a
obtenção do grau de Licenciado em Química.

Aprovada em: 26/10/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Flávia Cristina Gomes Catunda de Vasconcelos (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco - CA

Prof. Dr. Renato Luiz da Silva (Examinador externo)
Instituto Federal de Pernambuco – *Campus* Caruaru

Prof^ª. Dr. João Roberto Ratis Tenório da Silva (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco - CA

Dedico esse trabalho a todas as pessoas que fizeram parte dessa minha jornada e principalmente à Deus por ter me dado força, saúde e coragem para concluir a minha graduação com êxito.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me concedido sabedoria, paciência, saúde e determinação para que pudesse concluir minha graduação com maturidade e olhando para o futuro.

Aos meus familiares por terem me apoiado em minhas escolhas e terem me incentivado a continuar focado nos estudos.

Aos meus pais Maria e Cláudio pela educação que me foi concedida, visto que desde pequeno fui orientado a batalhar para conseguir meus objetivos sem passar por cima de ninguém e ajudando a todos que pudesse.

Aos meus irmãos Leandra e Pedro Henrique por estarem ao meu lado ao longo dessa jornada e serem minha inspiração para buscar melhorias na vida.

A minhas amigas Risocleide e Jucilayne por todo apoio durante a graduação e por fazerem parte da minha vida de forma permanente fora da universidade.

Aos meus amigos Milton, João, Arthur, Miguel, Mateus, Darlan, Rafael e Jonathan por todos os momentos vivenciados ao longo desses 5 anos, desde trabalhos apresentados até festas e comemorações, sempre com muita alegria e várias risadas.

A minha orientadora Flávia Vasconcelos por toda paciência e sabedoria compartilhada comigo ao longo desses dois últimos anos na Iniciação Científica, Residência Pedagógica e no TCC.

A todos os meus professores da graduação, em especial, João Tenório, Gilmar Pedrosa, Ricardo Guimarães, Jane Laranjeira, Ana Paula Souza e Roberta Félix, por todos os ensinamentos nas disciplinas do curso.

Ao professor Renato Luiz que me ajudou bastante durante o período do Residência Pedagógica, tornando-se um amigo e colega de profissão para o resto da vida.

Enfim, a todas as pessoas que contribuíram direta e indiretamente na minha graduação.

RESUMO

O uso de recursos que proporcionem a visualização no ensino de Química pode ser relacionado ao uso de modelos representacionais para a explicação do modo submicroscópico de fenômenos químicos. Dito isso, surgem as dificuldades apresentadas pelos estudantes na compreensão desse, visto que esse modo representacional requer um maior grau de abstração dos estudantes e a utilização adequada de meios para minimizar esses desafios. Nesse viés, o uso de softwares de simulação torna-se uma alternativa viável para melhorar a assimilação do modo submicroscópico na medida que permite a apresentação de representações dinâmicas. Dessa forma, o presente trabalho verificou as potencialidades que o uso de simulações em uma sequência didática sobre radioatividade, estruturada à luz da Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia de Richard Mayer, pode trazer para o ensino de Química. A aplicação foi feita no Instituto Federal de Pernambuco – Campus Caruaru com estudantes das turmas de ensino médio integrado aos cursos técnicos em Edificações e Mecatrônica. Estas turmas foram escolhidas, devido participarem do Programa da Residência Pedagógica, a qual também participei. Os resultados obtidos permitiram verificar que o uso das simulações contribui com a interpretação do modo submicroscópico da química, pois aspectos relevantes no que concerne à compreensão dos estudantes sobre o decaimento beta e alfa reforçaram o que se observa na literatura acerca do papel das simulações. De maneira análoga, as mensagens educacionais multimídias apresentaram-se relevantes à proporção que eram analisados os dados obtidos em um dos testes aplicados, visto que pôde-se verificar o quanto do assunto da radioatividade foi assimilado pelos estudantes. Nessa perspectiva, conclui-se que os recursos utilizados nesta pesquisa são de fato potencialmente eficazes, e embora tenham sido observadas alguns equívocos em determinados momentos, de modo geral os resultados convergiram para o que se encontra na literatura no tocante à importância do uso das simulações no ensino de química, ou seja, destacando que essas minimizam as dificuldades na compreensão do modo submicroscópico de fenômenos químicos.

Palavras-chave: ensino de química; simulação; radioatividade; representação; visualização.

ABSTRACT

The use of resources that provide visualization in the teaching of Chemistry can be related to the use of representational models to explain the submicroscopic level of chemical phenomena. That said, it is common for students to have difficulties in understanding submicroscopic chemical phenomena, since this representational mode requires a higher level of abstraction from students and the adequate use of teaching tools to minimize the difficulties presented by them. In this sense, the use of simulation software has become a viable alternative to improve the assimilation of the submicroscopic level because it allows the presentation of dynamic representations. Thus, the present research aims to verify the potential that the use of simulations in a didactic sequence about radioactivity and structured in light of Richard Mayer's Cognitive Theory of Multimedia Learning brings to the teaching of Chemistry. The research was carried out at Instituto Federal de Pernambuco – Campus Caruaru with students of High School Integrated Technician Training in mechatronics and building construction. These classes were chosen because they were part of the Pedagogical Residency Program, in which I also participated. The results obtained allowed us to verify that the use of simulations contributes to the interpretation of the submicroscopic level of chemistry, considering that relevant aspects regarding the students' understanding of beta and alpha decay reinforced what is observed in the literature about the role of simulations. Similarly, multimedia educational messages were relevant as the data obtained in one of the tests applied were analyzed, since it was possible to verify how much of the radioactivity subject was assimilated by the students. In this perspective, it is concluded that the resources used in this research are in fact potentially effective, and although some mistakes were observed at certain times, in general the results converged to what is found in the literature regarding the importance of using simulations in the teaching of chemistry, that is, highlighting that simulations in the teaching of chemistry minimize the difficulties in understanding the submicroscopic level of chemical phenomena.

Keywords: teaching of chemistry; simulation; radioactivity; representation; visualization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 -	Cinco processos cognitivos que ocorrem durante a apresentação multimídia	16
Quadro 2 -	Padrão de resposta do teste de retenção	28
Quadro 3 -	Padrão de resposta do teste de transferência	29
Quadro 4 -	Respostas obtidas para a primeira pergunta do questionário de conhecimentos prévios	32
Quadro 5 -	Respostas obtidas para a segunda pergunta do questionário de conhecimentos prévios	34
Gráfico 1 -	Exemplos obtidos nas respostas para a terceira pergunta do questionário de conhecimentos prévios	37
Quadro 6 -	Respostas obtidas para a quarta pergunta do questionário de conhecimentos prévios	38
Quadro 7 -	Respostas obtidas para a quinta questão do questionário de conhecimentos prévios	39
Quadro 8 -	Respostas obtidas para a sexta pergunta do questionário de conhecimentos prévios	41
Figura 1 -	Aplicação do segundo momento da sequência didática	44
Quadro 9 -	Respostas obtidas para a primeira pergunta do teste de retenção	44
Quadro 10 -	Respostas obtidas para a segunda pergunta do teste de retenção	47
Quadro 11 -	Respostas obtidas para a terceira pergunta do teste de retenção	49
Figura 2 -	Imagem das simulações Descaimento alfa e decaimento Bera do Phet Colorado, respectivamente.	51
Quadro 12 -	Respostas obtidas para a quarta pergunta do teste de retenção	52
Quadro 13 -	Respostas obtidas para a primeira pergunta do teste de transferência	56
Quadro 14 -	Comparação entre as respostas do estudante MT7 para perguntas semelhantes do questionário de conhecimentos prévios e do teste de transferência	58
Quadro 15 -	Respostas obtidas para a segunda pergunta do teste de transferência	59
Quadro 16 -	Respostas obtidas para a terceira pergunta do teste de transferência	62
Quadro 17 -	Respostas obtidas para a quarta pergunta do teste de transferência	65

Quadro 18 - Comparação entre respostas do teste de retenção com o teste de transferência	66
Quadro 19 - Respostas obtidas para a quinta pergunta do teste de transferência	68
Quadro 20 - Comparação entre as respostas do estudante <i>MT7</i>	69

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	OBJETIVO GERAL.....	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	15
3.1	A TEORIA COGNITIVA DA APRENDIZAGEM MULTIMÍDIA ATRELADA AO ENSINO DE QUÍMICA.....	15
3.2	AS SIMULAÇÕES NO ENSINO DE QUÍMICA.....	18
3.3	RADIOATIVIDADE E SUA ABORDAGEM NAS AULAS DE QUÍMICA.....	20
4	METODOLOGIA.....	23
4.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	23
4.2	SUJEITO E CAMPO DE PESQUISA.....	23
4.3	APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	24
4.4	COLETA DE DADOS.....	26
4.5	ANÁLISE DE DADOS.....	27
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1	QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS.....	32
5.2	TESTE DE RETENÇÃO.....	43
5.3	TESTE DE TRANSFERÊNCIA.....	56
6	CONCLUSÃO.....	71
	REFERÊNCIAS.....	72
	APÊNDICE A - PLANO DE AULA COM TODAS AS ETAPAS DESENVOLVIDAS NA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	76
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS.....	80
	APÊNDICE C – TESTE DE RETENÇÃO.....	82
	APÊNDICE D – TESTE DE TRANSFERÊNCIA.....	83

1 INTRODUÇÃO

Um dos desafios historicamente enfrentados por profissionais da educação básica, é em relação às dificuldades que os estudantes costumam apresentar frente aos conteúdos de determinadas disciplinas. No ensino de Química, especificamente, essas dificuldades costumam ser mais acentuadas, e conforme Pauletti (2017) destaca, ocorrem em virtude da forma como a relação entre aulas práticas e teóricas acontece, da natureza abstrata atrelada a uma linguagem muito simbólica, assim como do pouco domínio sobre os modos representativos simbólico, macroscópico e submicroscópico pelos estudantes. Além disso, os estudantes demonstram também um certo desinteresse no que concerne aos assuntos que permeiam a disciplina de Química, sendo este desinteresse, em sua maioria, provocado pela forma como as informações referentes a matéria são apresentadas, pois de acordo com Fiori e Goi (2020) ainda é muito comum as aulas serem expositivas, sendo importante tentar mudar este método de ensino, através da qualificação do processo de ensino e aprendizagem.

Arelado a isso, surgem os problemas relacionados a interpretação de modelos representacionais nas aulas de Química, visto que por tratar de muitos conceitos abstratos a Química necessita de uma abordagem que propicie a compreensão destes modelos em sala de aula, sendo importante a utilização de técnicas e habilidades que possibilitem a assimilação das informações de forma significativa (SIRHAN, 2007). Reforçando que, no ensino desta disciplina para estudantes deficientes visuais, outras estratégias são realizadas, as quais, por não serem foco deste trabalho, não serão abordadas aqui, sendo priorizada apenas a forma como a Química é abordada para estudantes não deficientes visuais e os obstáculos que possuem, tais como a dificuldade na interpretação dos modelos representacionais e conseqüentemente na compreensão do modo submicroscópico de fenômenos Químicos.

A forma como os conceitos químicos são abordados nos ambientes formais de ensino é um dos principais fatores no sentido de contribuir com essas dificuldades na interpretação de modelos representacionais, já que ainda nos dias atuais costuma ser priorizado um ensino por repetição, descontextualizado, e que objetiva apenas a memorização de fórmulas e conceitos por parte dos estudantes. Essa prática tem ocasionado desafios nas aulas de química, uma vez que faz com que os estudantes achem a matéria de difícil compreensão, bem como desconexa com situações do cotidiano, despertando assim a falta de interesse dos estudantes nesta área (REZENDE, 2022; TREVISAN; MARTINS, 2006; VEIGA; QUENENHENN; CARGNIN, 2012). Além disso, também tem influenciado nessa interpretação errônea da Química, o motivo

dessa ciência necessitar um certo grau de abstração durante o processo de ensino e aprendizagem, uma vez que é preciso imaginar um sistema invisível, a nível das interações atômico-moleculares, na interpretação de fenômenos pertinentes a essa ciência. Dessa forma, isso tem gerado dificuldades, pois, sem recursos para possibilitar a visualização dos conceitos abstratos, os desafios na compreensão dos fenômenos químicos em sua totalidade tendem a aumentar (LOCATELLI; ZOCH; TRENTIN, 2015; VASCONCELOS, 2015). Sendo assim, é necessário recorrer a metodologias que possibilitem a visualização do modo submicroscópico, a partir da utilização de modelos representacionais, na qual as tecnologias, tais como vídeos, simulações e websites, têm se destacado para esta finalidade.

O uso de tecnologias em sala de aula é crescente, e no cenário vivenciado durante a pandemia tornou-se ainda mais necessário implementar recursos tecnológicos nos diversos ambientes de ensino. Especificamente no ensino de Química, o uso das TICs, ou seja, das tecnologias da informação e da comunicação, podem proporcionar aspectos positivos, como apontam Locatelli, Zoch e Trentin (2015), ao afirmarem que a utilização destes recursos pode contribuir com uma melhor visualização de modelos representacionais, que evidenciem a Química à nível atômico-molecular, permitindo a compreensão das interações atômico-moleculares a partir da representação submicroscópica. Sendo assim, torna-se preciso pensar numa teoria que evidencie a importância destes aspectos visuais e a forma de utilizá-los, como é o caso da Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia (TCAM). Na TCAM, Mayer (2001) defende que a utilização da tecnologia em recursos educacionais que levam em consideração a forma em que a mente humana funciona permite um desenvolvimento cognitivo eficiente e conseqüentemente uma aprendizagem mais significativa. Cabe ressaltar que nessa teoria as informações a serem trabalhadas são abordadas através de mensagens educacionais multimídia, que segundo Mayer (2001) são imagens e palavras utilizadas com o intuito de promover a aprendizagem.

Arelada a essas tecnologias estão os softwares de simulação, que tem seu uso cada vez mais constante por profissionais da educação na abordagem de diversos assuntos, sejam na disciplina de química, biologia, física ou matemática. Vasconcelos (2015) destaca que as simulações quando exploradas a partir de toda uma estruturação consciente, ou seja, com as informações a serem apresentadas na simulação organizadas previamente, podem contribuir com a compreensão do modo submicroscópico da Química, sendo esse o que os estudantes costumam apresentar mais dificuldades, pois é necessário imaginar um sistema abstrato, a nível de interações entre átomos e moléculas.

Dessa forma, o presente trabalho busca responder a seguinte questão: “Como uma sequência didática atrelada ao uso de simulação e estruturada de acordo com os pressupostos da teoria cognitiva da aprendizagem multimídia (TCAM) pode contribuir na compreensão da representação submicroscópica de fenômenos referentes a Radioatividade?”.

A hipótese provável é que uso de simulações em uma estratégia didática estruturada com base na TCAM pode ser eficiente na compreensão do modo submicroscópico, pelo fato da simulação possibilitar a visualização das representações a nível atômico e molecular, ou seja, de modelos, a partir da apresentação de imagens dinâmicas. Além disso, a TCAM destaca-se na estratégia didática por ser importante na organização das informações, no caso as imagens estáticas e dinâmicas e as palavras utilizadas na abordagem, objetivando que essas informações sejam apresentadas de uma forma que propicie uma melhor assimilação por parte dos estudantes e conseqüentemente uma aprendizagem mais significativa.

Cabe ressaltar que ao longo dos capítulos do trabalho há tópicos destacando a Teoria Cognitiva da Aprendizagem multimídia atrelada ao ensino de Química, a radioatividade e sua abordagem nas aulas de Química e as simulações no ensino de Química, os quais serviram como referências para a análise dos resultados e a posterior discussão, a partir de dados obtidos na aplicação da sequência didática.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar as potencialidades de uma sequência didática sobre radioatividade que explore simulações no decorrer da aplicação e seja estruturada sob a ótica da Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia (TCAM).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compreender as concepções dos estudantes sobre o tema radioatividade;
- Investigar como as simulações contribuem na interpretação do fenômeno químico abordado à nível atômico-molecular, ou seja, em relação ao modo submicroscópico;
- Analisar como as mensagens educacionais multimídias nas etapas das sequências didáticas, levando em consideração o processo de integração da TCAM, auxiliam a compreensão do fenômeno em sua totalidade.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A TEORIA COGNITIVA DA APRENDIZAGEM MULTIMÍDIA ATRELADA AO ENSINO DE QUÍMICA

Defendendo que a utilização de imagens ou palavras de forma isolada no ensino de um determinado conteúdo não é eficiente, Mayer (2001) apresenta diversos argumentos favoráveis sobre a aprendizagem multimídia, na qual, aponta aspectos positivos no que diz respeito ao desenvolvimento cognitivo dos estudantes frente a essa abordagem. Mayer (2001) defende na TCAM que a utilização de recursos educacionais baseados em como funciona a mente humana pode promover uma aprendizagem mais significativa, pois essa teoria leva em consideração aspectos da ciência cognitiva em relação a aprendizagem, sendo eles: o pressuposto do canal duplo, que defende que a mente humana possui dois canais referentes ao processamento de informações, sendo um destinado a imagens (visual) e o outro a sons (auditivo). O pressuposto da capacidade limitada, no qual, os canais têm um limite de processamento de imagens e sons, logo, nem todas as informações apresentadas são assimiladas. E por fim, o pressuposto do processamento ativo, no qual os estudantes precisam prestar atenção, organizar as informações apresentadas e integrar estas informações com conhecimentos pré-existentes, seguindo uma ordem de processos cognitivos para assim dar sentido às informações recebidas (MAYER, 2001).

Nos pressupostos da TCAM tem-se que existem três tipos de memórias envolvidas no processo de aprendizagem, mais precisamente no processamento de informações, as quais são: a sensorial, a memória de trabalho, e a memória a longo prazo (MAYER, 2001). A memória sensorial permite um entendimento breve de informações por um período, as imagens ou textos escritos entram na memória sensorial visual, já os sons reproduzidos na apresentação multimídia ficam retidos na memória sensorial auditiva. A memória de trabalho, cuja informações são processadas, ficam retidas por um tempo maior que na memória sensorial, ou seja, ocorre de forma consciente, em que existe uma seleção de informações relevantes, seguida da organização destas informações. Na memória a longo prazo estão contidos os conhecimentos pré-existentes dos estudantes, que posteriormente serão integrados com as informações assimiladas da apresentação multimídia (MAYER, 2001).

Mayer (2001) afirma ainda que durante uma apresentação multimídia o estudante se submete a 5 tipos de processos cognitivos, que são: i) seleção de imagens; ii) seleção de

palavras; iii) organização das imagens; iv) organização das palavras e, v) integração. De forma sucinta, suas características estão descritas no quadro 1.

Quadro 1 – Cinco processos cognitivos que ocorrem durante a apresentação multimídia

i) Seleção de imagens: Neste processo o estudante seleciona algumas das imagens relevantes que ficaram retidas na memória sensorial, para representação mental na memória de trabalho, e essa seleção de imagens relevantes decorre da capacidade limitada deste canal do sistema cognitivo.
ii) Seleção de palavras: Semelhante a seleção de imagens, neste processo são selecionadas apenas algumas palavras relevantes para posterior processamento na memória de trabalho, as palavras selecionadas podem ser advindas tanto do canal visual (texto impresso) quanto do auditivo (sons, narração, dentre outros).
iii) Organização de imagens: Nesse processo, são organizadas as imagens que foram anteriormente selecionadas em um modelo pictórico coerente, sendo esse um processo não arbitrário e que depende do esforço do estudante.
iv) Organização de palavras: Similar ao processo de organização de imagens, neste processo serão organizadas as palavras que foram selecionadas na memória de trabalho, criando assim um modelo verbal coerente.
v) Integração: Considerada a fase mais importante da aprendizagem multimídia, neste processo serão tecidas relações entre as representações verbais e pictóricas criando um modelo integrado, que ainda faz ligações com os conhecimentos prévios já existentes.

Fonte: Adaptado de Mayer (2001)

Com base nestas informações, este trabalho se propõe a viabilizar que alunos compreendam os fenômenos químicos referentes a Radioatividade, utilizando recursos midiáticos em uma sequência didática estruturada a partir da TCAM.

Nesta perspectiva, usou-se como base os pressupostos que Mayer (2001) destaca na teoria, referentes ao uso de imagens e palavras, as quais possibilitam uma aprendizagem mais eficaz, pois testes realizados pelo autor demonstram resultados positivos através do uso do teste de transferência e o teste de retenção. Esses testes ocorrem com a abordagem das mensagens educacionais multimídias, que segundo Mayer (2001) é uma apresentação que dispõe de imagens e palavras, sendo que as imagens podem ser estáticas ou dinâmicas, como por exemplo vídeos e simulações, e as palavras podem ser ditas ou transcritas, e que se utilizadas da forma correta, podem promover a aprendizagem. Em relação aos resultados obtidos após uma apresentação multimídia, estes podem ser medidos através desses testes, sendo assim, torna-se importante destacar primeiramente as principais dificuldades no ensino de química, antes de traçar as estratégias de organização de informações com base na TCAM.

Sabe-se no ensino de Química que uma das dificuldades apresentadas por estudantes são os diversos conceitos que necessitam certo grau de abstração, conceitos esses que podem ocasionar desinteresse, baixo rendimento dos estudantes e o entendimento de que os conteúdos

da Química são difíceis (SHIRAN, 2007). Além disso, consoante Halfen *et al.* (2020) a abstração de determinados princípios pode fazer com que não ocorra uma relação efetiva entre os modos representativos, como o simbólico e o submicroscópico, gerando então dificuldades na compreensão de fenômenos. Nesse sentido, é que surge a necessidade da utilização de representações pictóricas na forma de mensagens educacionais multimídia tendo como referência os pressupostos da TCAM, pois como apontam Neves, Carneiro-Leão e Ferreira (2016) a teoria cognitiva da aprendizagem multimídia possibilita a avaliação dos aspectos que estão implícitos e explícitos na imagem, evitando assim o acúmulo de informações desnecessárias durante a realização de uma aula que usa mensagens educacionais multimídias. Cumpre ainda destacar que quando o material didático é preparado de forma arbitrária, sem considerar o plano da disciplina, esse pode ocasionar em desinteresse por parte dos estudantes, pois conforme o pressuposto da capacidade limitada, existe uma quantidade específica de informações a serem interpretadas frente a uma apresentação multimídia (MAYER, 2001; SANTOS; KLEIN; BARIN, 2018). Com isso, uma das formas de se utilizar as representações pictóricas é com o auxílio de tecnologias como o computador.

Dentre os benefícios na utilização do computador inserido dentro das aulas de Química, está a possibilidade de representar modelos referentes ao modo submicroscópico, sendo essa atividade importante para compreensão do fenômeno químico em sua totalidade. Relacionado a isso, entra a Teoria Cognitiva da Aprendizagem multimídia, pois de acordo com Lopes e Chaves (2018) essa é uma das teorias que dão suporte para a relação entre a educação com a utilização de recursos tecnológicos.

Deste modo, considerando que no ensino da radioatividade é necessário abstração para sua interpretação, em razão do fenômeno envolver partículas subatômicas, a utilização de representações pictóricas, que são foco nos recursos tecnológicos, pode minimizar as possíveis dificuldades apresentadas por estudantes, visto que as imagens “também, surgem para diminuir a abstração de determinados conceitos, tornando-os mais perceptíveis aos estudantes, facilitando a comunicação de conceitos e ideias [...]” (NEVES; CARNEIRO-LEÃO; FERREIRA, 2016, p. 95).

Alinhada a utilização de imagens na abordagem de determinados conceitos, Mayer e Moreno (2002) apontam que a utilização do computador com representações pictóricas e linguagem verbal possui uma potencialidade no que concerne às melhorias no processo de aprendizagem do estudante, destacando-se a compreensão dos conteúdos. Nesse sentido, ao reproduzir as imagens, estáticas ou dinâmicas, e as palavras, sendo elas escritas ou faladas (narração), considerando o princípio da contiguidade, que trata que a assimilação das

informações irá ocorrer de forma mais significativa quando essas representações são apresentadas simultaneamente, a aprendizagem ocorre mais efetivamente. Isso ocorre pois de acordo com a TCAM os estudantes tendem a assimilar as imagens e palavras na memória de trabalho no mesmo tempo, quando essas são apresentadas paralelamente (MAYER; MORENO, 2002; MAYER; MORENO, 1998).

Sendo assim, o uso de simulações computacionais como parte dos recursos para ensinar o tópico de radioatividade, tendência na compreensão dos fenômenos envolvidos nesta temática, na medida em que pode ser realizada uma exploração através da apresentação das imagens dinâmicas referentes ao núcleo atômico, atrelada a uma narração destacando o que está ocorrendo naquele fenômeno, baseando-se no princípio da contiguidade. Além disso, questões levantadas durante a exploração da simulação, podem permitir com que os estudantes participem ativamente na construção do conhecimento, a partir da seleção das informações mais relevantes, estando de acordo com o pressuposto do processamento ativo da TCAM.

3.2 AS SIMULAÇÕES NO ENSINO DE QUÍMICA

A utilização de softwares de simulação pode ser eficaz na compreensão dos fenômenos Químicos por parte dos estudantes. Contudo, é preciso que a estratégia de ensino que utiliza o recurso esteja bem estruturada e que as informações transitem entre os modos macroscópico, simbólico e submicroscópico (CORREIA; SILVA; VASCONCELOS, 2019). Essa utilização surge em virtude das simulações se mostrarem eficientes no sentido de proporcionar aspectos positivos no ensino, uma vez que como apontam Oliveira *et al.* (2013, p. 147):

A utilização de softwares de simulação surge como recurso promissor. Esses programas podem incluir animações, visualizações e interativas experiências laboratoriais. As simulações aliadas ao ensino podem ser eficazes no desenvolvimento da interpretação e compreensão do conteúdo, bem como na promoção de objetivos mais sofisticados de aprendizagem [...]

Nesse viés, considerando que as dificuldades na compreensão de conceitos abstratos surgem em virtude da ausência de estímulos sensoriais, as simulações vêm sendo utilizadas como ferramentas para explicar estes conceitos, na medida em que possibilitam a interpretação de representações, a partir dos modelos representacionais do fenômeno em estudo (RIBEIRO; GRECA, 2003). Além disso, como a compreensão da Química pode ser considerada complexa devido a explicações abstratas dos fenômenos, as simulações além de auxiliar nessa visualização descrita anteriormente, podem também contribuir com a observação do

comportamento atômico molecular a partir da análise das variáveis envolvidas nos fenômenos (ARAÚJO; NETO; OLIVEIRA, 2021; MACHADO, 2016; SOUZA *et al.*, 2020).

Ainda em relação à importância do uso das simulações no ensino de Química, (RIBEIRO; GRECA, 2003, p. 544) apontam que:

Os “softwares” de simulação e as ferramentas de modelização, podem ser de grande utilidade para que os educadores consigam proporcionar condições aos alunos de, a partir da modelização de determinado fenômeno, desenvolverem a compreensão conceitual dos estudos desenvolvidos, não mais fazendo o uso mecânico dos conceitos que envolvem os fenômenos estudados.

Nesse sentido, percebe-se que o uso das simulações tem como um dos principais objetivos proporcionar condições adequadas para que o estudante consiga visualizar determinado modelo representacional e conseqüentemente compreender o fenômeno estudado. No entanto, cabe destacar que para além dessas características, a simulação em sala de aula possibilita ainda um dinamismo que foge das técnicas tradicionais em que o ensino de Química costuma ser pautado historicamente, proporcionando ao estudante uma maior interação, uma vez que tornam a aula mais dinâmica e interativa (MARTINS *et al.*, 2020).

Dessa forma, torna-se importante a utilização das simulações atreladas a estratégias didáticas, para possibilitar que os estudantes consigam compreender de forma mais efetiva o modo representacional submicroscópico, através da visualização das representações de átomos, moléculas e suas interações. Como aponta Vasconcelos (2015), ao utilizar simulações que representam o modo submicroscópico de um determinado fenômeno, pode-se verificar suas potencialidades para com o ensino de Química. Logo, torna-se necessário um estudo acerca das simulações disponíveis, a fim de verificar quais são mais eficazes no que concerne a atender as necessidades requisitadas pelo tema abordado na estratégia didática.

Na literatura, identifica-se uma variedade de softwares de simulações, que incluem Software labvirt, Carbópolis, Virtual Chemistry lab 2.0, dentre outros (MACHADO, 2016), na qual se destacam as simulações do *PhET Interactive simulations*¹ que foram desenvolvidas a partir de um projeto da Universidade do Colorado, ressaltando que iniciaram na área de Física, se ampliando para Química, e outras ciências como Matemática, Ciências da Terra e Biologia (MACHADO, 2016, LIMA; SÁ; VASCONCELOS, 2019).

Com isso, as simulações *PhET* quando inseridas em estratégias bem estruturadas de ensino, tais como sequências didáticas que priorizem a exploração da simulação com o objetivo

¹ Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/ Acesso em: 11 mai, 2022.

de possibilitar uma melhor visualização do fenômeno, tem potencialidades para viabilizar a aprendizagem dos estudantes, tendo em vista a boa estruturação da plataforma, a interface limpa das simulações e o fato de serem de fácil acesso, podendo ser utilizadas de modo *online* ou *offline* (ARAÚJO; NETO; OLIVEIRA, 2021). Moreno e Heidelmann (2017) apontam que a simulação *PhET* não só promove a visualização de representações referentes ao modo submicroscópico, mas também permite a alteração de variáveis no fenômeno em estudo, ou seja, alterações nas condições do sistema, o que conseqüentemente pode gerar uma melhor imersão do estudante na exploração do software. Além disso, Vasconcelos (2015, p. 4) destaca que:

As simulações são escritas em Java, Flash ou HTML5 que podem ser executadas de forma on-line, e ser baixado no computador. As simulações do PhET fornecem aos usuários a interatividade com o recurso e as condições para compreensão de causa e efeito quando realizam determinado mecanismo proposto na simulação. Neste sentido, pode-se afirmar que estes envolvem os alunos para a compreensão das ciências, principalmente a partir da investigação, e com conexões com o mundo real.

Em virtude dessas características, a estruturação da sequência didática na presente pesquisa inclui simulações *PhET* que abordam a radioatividade, mais especificamente as simulações intituladas *Decaimento alfa*² e *Decaimento beta*³, tendo em vista que essas possuem estruturas que representam o fenômeno de emissão das partículas alfa e beta, sendo esse um assunto trabalhado durante a aplicação da sequência didática.

3.3 RADIOATIVIDADE E SUA ABORDAGEM NAS AULAS DE QUÍMICA

A temática ou conteúdo de Radioatividade é um dos assuntos abordados nas aulas de Química da educação básica, e geralmente associado a algo perigoso, essencialmente em virtude das diversas reproduções em filmes, seriados e animações, bem como os eventos que aconteceram ao longo da história, destacando-se os acidentes nucleares como o acidente de Chernobyl, da usina de Fukushima e o caso do Césio-137 em Goiânia. Vasconcelos e Leão (2012) destacam que há uma distorção sobre as verdadeiras conseqüências no que concerne à exposição à radioatividade, apresentadas nestes meios audiovisuais. Logo, pode-se inferir que por muitas vezes a construção do conhecimento acerca da radioatividade ocorre de forma

² Simulação Decaimento Alfa. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/alpha-decay
Acesso em: 11 mai, 2022.

³ Simulação Decaimento Beta. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/beta-decay
Acesso em: 11 mai, 2022.

equivocada e distorcida, justamente pela forma como costuma ser apresentada nos meios de comunicação. Ainda em relação a interpretação sobre radioatividade, tem-se que:

O termo “Radioatividade” representa para muitas pessoas algo perigoso, relacionado a bomba atômica ou a acidentes como no caso do césio em Goiânia (1987) e da usina de energia nuclear de Chernobyl. Inevitavelmente, a população em massa pouco sabe das aplicações benéficas da radioatividade, sendo comum essas informações serem evidenciadas nos livros didáticos, como uma tentativa de contextualização, mas podendo gerar uma falsa impressão em alunos e professores pouco informados de que os fenômenos relacionados à energia nuclear, de modo geral, causam danos à saúde, gerando riscos para toda uma população (VASCONCELOS, 2016, p. 155)

Dito isso, por ser um conteúdo considerado polêmico, tendo em vista as tragédias e a forma que é tratado nos veículos de comunicação, é importante e necessário pensar que na abordagem dentro dos ambientes formais de ensino, é preciso direcionar este assunto para as questões benéficas, não se limitando as tragédias ocorridas ao longo da história (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Dessa forma, deve-se pensar em como a radioatividade vem sendo tratada no ensino médio, para então possibilitar estratégias eficientes na abordagem do conteúdo, elucidando assim toda a sua importância.

No ensino de Química, o conteúdo de Radioatividade costumava ser abordado próximo ao final do segundo ano do ensino médio, dentro dos conteúdos englobados na área de Físico-Química, fazendo com que fosse abordado de uma maneira superficial em virtude da escassez de tempo, o que conseqüentemente faz com que sejam priorizadas as reações sobre as emissões radioativas e aspectos sobre o núcleo atômico (PINTO; MARQUES, 2010). No entanto, ressalta-se que a radioatividade é um tema que desperta a curiosidade nos estudantes, ou seja, diferentemente de outros assuntos da Química, esse costuma não causar desinteresse, ao qual Eichler, Calvete e Salgado (1997) atribuem este fato a maneira como a temática é exposta nos diversos meios de comunicação, visto que as notícias veiculadas geralmente apresentam certo caráter sensacionalista, que desperta o interesse pelo tema.

Consoante o Currículo de Pernambuco para o Ensino Médio, a radioatividade deve ser trabalhada no 1º ano do ensino médio através dos objetos do conhecimento “noções de radioatividade” e “datação por Carbono-14” que tem como habilidade específica do componente “Recorrer aos diversos sistemas de datação de fósseis para auxiliar a análise histórica de seres, materiais e objetos que relatam a evolução da história humana, valorizando e respeitando a diversidade étnica e cultural.” (PERNAMBUCO, 2021, p. 225).

Ademais, a temática radioatividade é retomada no 3º ano do ensino médio através dos objetos de conhecimento “Conceitos fundamentais de Radioatividade. Potencialidades e riscos da aplicação da radioatividade em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na

indústria, na área militar, na agricultura e na geração de energia elétrica.” (PERNAMBUCO, 2021, p. 230-231), tendo como habilidade específica do componente:

Compreender as mudanças de paradigmas entre a visão clássica e o modelo quântico para o átomo, através de contextualizações históricas, referenciais teóricos e demonstrações experimentais, refletindo de que forma e até que ponto a radioatividade pode ser empregada na vida e no meio ambiente. (PERNAMBUCO, 2021, p. 230-231)

Dessa forma, percebe-se que é necessária uma abordagem sobre a temática de uma forma que possibilite a criticidade dos estudantes no sentido de compreenderem as implicações da radioatividade na vida e no meio ambiente. Além disso, conforme a competência específica 1 da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias no Ensino Médio, é necessária a mobilização de estudos sobre os efeitos biológicos da radiação ionizante e as mutações (BRASIL, 2018), ou seja, tópicos referentes ao ensino da radioatividade.

No que diz respeito à forma como o conteúdo de radioatividade é apresentado nos livros didáticos, Tarnowski e Lawall (2021) destacam que de modo geral existe a ausência de discussões essenciais no que tange aos processos envolvendo as teorias sobre o tema, incluindo todo o desenvolvimento, como refutação e complementação. Além disso, relatam que as implicações dos contextos sociais, que são um fator externo, no que concerne ao trabalho científico, não estão bem detalhadas nos livros didáticos analisados (TARNOWSKI; LAWALL, 2021).

Com isso, torna-se necessário estruturar estratégias didáticas que abordem a radioatividade de uma perspectiva reflexiva, na qual, sejam destacados os aspectos positivos em relação ao tema, a partir de uma tentativa de desconstrução do que os estudantes compreendem previamente. Além disso, devido ao grau de abstração do tema, no qual, o fenômeno ocorre essencialmente à nível atômico-molecular e envolve partículas subatômicas, impossibilitando a visualização por parte dos estudantes, é preciso utilizar modelos representacionais que busquem minimizar as dificuldades e aumentar a compreensão a respeito do modo submicroscópico.

Dessa forma, a sequência didática utilizada na presente pesquisa abordou informações referentes aos acidentes envolvendo a radioatividade, à evolução dos modelos atômicos, à definição de isótopos e a relação com a radioatividade, aos tipos de radiação ionizante, à interação entre a radiação ionizante e a matéria, e por fim, às aplicações, sendo destacadas as aplicações na medicina, datação por carbono 14, produção de energia e irradiação de alimentos.

4 METODOLOGIA

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa caracteriza-se como qualitativa quanto à abordagem e exploratória quanto aos objetivos, pois busca explorar o problema, que no caso são as dificuldades apresentadas pelos estudantes no que concerne a compreensão do modo submicroscópico dos fenômenos relativos à radioatividade. Tendo em vista que a pesquisa exploratória objetiva um aumento no conhecimento do fenômeno em estudo quando esse tem um escasso conhecimento sistematizado (MORESI, 2003; ZANELLA, 2011), a forma com que houve este aprofundamento, a respeito de como os estudantes compreendem o modo submicroscópico, bem como suas dificuldades e suas facilidades frente aos estímulos sensoriais (visuais e auditivos), foi através da análise dos dados coletados na aplicação da sequência didática com as simulações.

Além disso, cabe ressaltar que a pesquisa levou em consideração a subjetividade dos sujeitos participantes, na medida em que buscou se aprofundar em como os estudantes se comportam frente a estratégia didática, reforçando assim o caráter qualitativo da pesquisa, que de acordo com Mendonça (2017, p. 90) “[...] pretende interpretar em vez de mensurar, pensa mais em termos de compreensão da realidade e dos sujeitos”. Mussi *et al.* (2019) aponta ainda que a pesquisa qualitativa, ao considerar a subjetividade, permite o destaque das individualidades dos sujeitos da pesquisa.

4.2 SUJEITO E CAMPO DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada com estudantes dos cursos técnicos integrados ao Ensino Médio de edificações e mecatrônica, no Instituto Federal de Pernambuco – *Campus* Caruaru. A quantidade de sujeitos envolvidos na pesquisa teve uma média de 10 participantes efetivamente em cada aula, pois apesar de um quantitativo maior de estudantes no segundo encontro, os dados coletados nos testes dos dois últimos encontros equivaleram a 7 estudantes cada. Além disso, cabe ressaltar que pelo caráter da pesquisa já se tornou suficiente esse respectivo quantitativo. A escolha dos sujeitos participantes, bem como da instituição de ensino referida, levou em consideração as escolas de educação básica participantes do programa residência pedagógica da CAPES na região do agreste pernambucano, tendo em vista a familiaridade com o preceptor de química e a gestão da instituição. Já em relação a seleção dos sujeitos, o único pré-requisito

para esses participarem foi cursarem o ensino médio, de preferência, a partir do equivalente ao segundo ano, e por isso, as turmas escolhidas foram do 5º período dos cursos anteriormente mencionados.

4.3 APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A aplicação da sequência didática (APÊNDICE A) ocorreu em três encontros presenciais, sendo as informações apresentadas divididas da seguinte forma: 1º encontro: debate de fatos históricos em relação a radioatividade, iniciando pela evolução dos modelos atômicos e sua relação com a descoberta da radioatividade, além da descrição sobre os acidentes ocorridos no século XX; 2º encontro: abordagem conceitual sobre as partículas alfa, beta, e os raios gama, sobre a interação da radioatividade com a matéria, seguido da exploração das simulações *PhET* decaimento alfa e decaimento beta; e por fim no 3º encontro: aplicações da radioatividade no cotidiano através de discussões sobre processos de irradiação de alimentos, usinas nucleares, radioatividade na medicina e datação por carbono-14.

Descrevendo o 1º encontro da aplicação que ocorreu no dia 18 de julho de 2022. A aula, que durou aproximadamente 1 hora e contou com 10 participantes (*LNI, LY2, JY3, CD4, IL5, LF6, MT7, AC8, FN9 e HG10*), começou com a apresentação de um rótulo de alimento que havia passado por um processo de irradiação, seguido do seguinte questionamento: O consumo desse alimento poderia causar algum mal para o ser humano?, pergunta essa realizada com o intuito de fomentar o pensamento dos estudantes e dar um exemplo concreto de aplicação da radioatividade no dia a dia antes de prosseguir com a abordagem. Posteriormente, foram abordadas notícias de acidentes que ocorreram e que estavam relacionados com a temática, na qual foram descritas informações acerca do acidente de Chernobyl, o acidente de Goiânia, as garotas do Rádio, as bombas de Hiroshima e Nagasaki, além das séries e animações que retravam esses acontecimentos. Após essa etapa a abordagem adotou uma perspectiva mais histórica no sentido de descobertas, visto que foi apresentado informações sobre a descoberta dos elementos Rádio e Polônio por Marie e Pierre Curie, seguido da descrição sobre a evolução dos modelos atômicos até o modelo de Ernest Rutherford e qual a relação da elaboração do seu modelo atômico com a radioatividade. Por fim, com o intuito de proporcionar que os estudantes observassem um experimento que tinha relação com o tema, foi reproduzido um vídeo sobre o experimento “Câmara de Wilson” que rendeu prêmio Nobel ao Charles Thomson Rees Wilson (1869-1959).

Prosseguindo com a descrição do 2º encontro que ocorreu no dia 19 de julho de 2022. A aula, que durou cerca de 1 hora e 15 minutos e contou com a participação de aproximadamente 15 estudantes, iniciou com a apresentação das características dos isótopos através de mensagens educacionais multimídias com uso de modelos representacionais e informações verbais de forma concomitante seguindo como referência os trabalhos (MAYER, 2001; MAYER; MORENO, 2002) para a estruturação do slide. Cabe ainda ressaltar que essa organização das mensagens educacionais multimídia baseou os slides de toda a sequência didática. Após a abordagem sobre os isótopos, iniciou-se a apresentação dos tipos de radiação nuclear, alfa, beta e gama, na qual foram descritas informações sobre a natureza, a carga, a massa, as equações nucleares e o que ocorre com o núcleo atômico após cada tipo de decaimento. Em seguida, foi destacada a interação da radioatividade com a matéria através do poder de penetração das partículas alfa/beta e dos raios gama, relacionando com a forma em que essas radiações ionizavam os átomos (colisão, efeito fotoelétrico, efeito Compton e produção de pares). Na sequência houve uma abordagem sobre a radioatividade natural e o uso das pílulas de Iodo como uma medida de proteção contra efeitos da radioatividade. Por fim, nos últimos 20 minutos foram exploradas as simulações *PhET* decaimento alfa e decaimento beta em obediência ao pressuposto do canal duplo e o princípio da contiguidade (MAYER, 2001; MAYER; MORENO, 2002), no qual foi apresentado os modelos representacionais do Urânio-238 sofrendo decaimento alfa e do Carbono-14 sofrendo decaimento beta, em suas respectivas simulações, atrelado a discussão com informações verbais sobre a ocorrência do fenômeno visualizado nas simulações.

No tocante à descrição do 3º encontro que aconteceu no dia 20 de julho de 2022. A aula, que contou com um total de 7 participantes (*LNI, LY2, MT, GB11, GL13, RY15 e JV16*) e durou aproximadamente 45 minutos, teve um viés mais voltado para as implicações da radioatividade na sociedade. Dessa forma a aula iniciou com a descrição da geração de energia elétrica nas usinas nucleares, na qual foram abordados o processo de enriquecimento do Urânio-235, o funcionamento de uma usina nuclear, a forma em que a energia elétrica é gerada, assim como os efeitos para a fauna e a flora presente nos entornos da usina. Posteriormente, foram destacadas as aplicações na medicina, tendo como foco a forma com que a radiação ionizante combate ao câncer na radioterapia, na qual foram utilizados modelos representacionais sobre células de DNA e feixes de radiação para ilustrar o processo da morte da célula cancerígena. Na sequência foram trabalhadas informações sobre a datação por Carbono-14, sendo evidenciado o tempo de meia vida. E por fim, ocorreu a descrição sobre o processo de irradiação de alimentos, em que foram destacados os benefícios que o processo proporciona aos alimentos,

a forma com que é feita a irradiação e a desmistificação de que o processo traz riscos para o consumo do ser humano.

4.4 COLETA DE DADOS

Tendo em vista a forma com que ocorreu a aplicação, foram utilizados três instrumentos para a coleta dos dados, equivalentes assim a quantidade de encontros, sendo eles: um questionário (APÊNDICE B) para obtenção dos conhecimentos prévios dos estudantes acerca da temática radioatividade, aplicado no início do primeiro encontro; um teste de retenção (APÊNDICE C), sendo esse disponibilizado em formato de google formulário após o segundo encontro; e um teste de transferência (APÊNDICE D) disponibilizado via google formulário após o terceiro e último encontro.

Em relação aos dados obtidos para o primeiro encontro, todos os 10 estudantes (*LNI, LY2, JY3, CD4, IL5, LF6, MT7, AC8, FN9 e HG10*) que participaram da aplicação responderam ao questionário fornecido previamente. Já em relação aos dados do segundo encontro, dos 15 estudantes que participaram, apenas 7 deles (*LNI, JY3, MT7, GB11, NC12, GL13 e YR14*) responderam o teste de retenção que foi disponibilizado via google forms posteriormente. Por fim, no tocante aos dados obtidos no terceiro e último encontro, dos 7 estudantes que participaram (*LNI, LY2, MT, GB11, GL13, RY15 e JVI6*) todos responderam o teste de transferência.

Os testes utilizados foram elaborados de acordo com a TCAM, na qual Mayer (2001) define o teste de retenção como sendo importante para medir o quanto os estudantes recordam as informações que foram apresentadas na mensagem educacional multimídia. Já o teste de transferência possibilita verificar a compreensão dos estudantes sobre o objeto de estudo, ou seja, o quanto eles assimilaram do conteúdo discutido nas apresentações multimídias, na medida em que aplicam as informações apresentadas para resolver novos problemas (MAYER, 2001).

Cabe ressaltar que, em suma, o questionário de conhecimentos prévios funcionou como um pré-teste, visto que permitiu uma comparação com dados obtidos em momentos posteriores da aplicação da sequência didática, verificando também a integração dos conhecimentos pré-existentes com as informações assimiladas pelos estudantes na sequência didática, sendo esse um dos cinco processos cognitivos em que os estudantes são submetidos durante uma apresentação multimídia (MAYER, 2001).

4.5 ANÁLISES DE DADOS

Os resultados obtidos com o questionário de conhecimentos prévios foram analisados pela técnica da análise de conteúdo. De acordo com Franco (2005, p. 24), “[...] os resultados da análise de conteúdo devem refletir os objetivos da pesquisa e ter como apoio indícios manifestos e capturáveis no âmbito das comunicações emitidas”, e dessa forma, neste trabalho buscou-se analisar mensagens escritas dos estudantes, no caso as respostas dos testes e do questionário, para então analisar o quanto os recursos viabilizaram uma melhor compreensão do fenômeno da radioatividade aos estudantes, refletindo assim nos objetivos da pesquisa.

Para a análise das respostas obtidas no questionário de conhecimentos prévios, foi feito um processo de categorização, no qual foram criadas categorias para as respostas dos estudantes, baseado na semântica. Na categorização pelo critério semântico Bardin (1977, p. 118) destaca que “[...] todos os temas que significam a ansiedade, ficam agrupados na categoria ansiedade, enquanto os que significam a descontração, ficam agrupados sob o título conceptual descontração [...]”, ou seja, é um exemplo similar do que aconteceu na análise das respostas provenientes do questionário de conhecimentos prévios, que objetivou uma melhor organização no que concerne a cada termo citado pelos estudantes.

Nesse viés, as respostas que apresentaram informações de que a radioatividade era considerada como algo maléfico ficaram em uma categoria distinta das respostas em que a radioatividade era considerada como benéfica, o mesmo critério de categorização foi utilizado para as respostas provenientes das outras perguntas do questionário de concepções sobre o tema radioatividade, as quais tratavam sobre os exemplos de aplicações da radioatividade, sobre o significado do termo radioatividade, sobre a utilização das pílulas de Iodo como forma de proteção contra os efeitos da radiação e sobre a irradiação de alimentos.

Em relação a análise das respostas provenientes dos testes de retenção e de transferência, também foi realizado um processo de categorização. Esse, no entanto, não foi baseado na semântica, mas sim nos conceitos apresentados pelos estudantes nas respostas dos testes, que foram julgados e selecionados em categorias denominadas: i) satisfatória; ii) moderadamente satisfatória; e, iii) insatisfatória. Na categoria satisfatória ficaram as respostas cujos conceitos citados foram suficientes para responder de forma objetiva, coerente e correta o que se pedia na questão, a partir de elementos abordados nas apresentações multimídias durante a aplicação da sequência didática. Na categoria moderadamente satisfatória, ficaram as respostas que apresentaram parte dos conceitos necessários para responder à questão, no entanto sem muita coerência, tornando as respostas relativamente confusas, incompletas ou parcialmente

equivocadas. E por fim, na categoria insatisfatória, foram listadas aquelas respostas que não apresentaram sentido e coerência, bem como não satisfizeram em termos conceituais o que se pedia na questão.

Cabe ainda ressaltar que foi elaborado um padrão de resposta para que houvesse uma seleção justa das respostas em cada categoria, sendo esse padrão pensado a partir das informações que foram abordadas na sequência didática. Nos quadros 2 e 3 abaixo, estão listados de forma detalhada os padrões de respostas para a categorização das questões

Quadro 2 – Padrão de resposta do teste de retenção

O que são elementos classificados como isótopos e qual a sua importância para a sociedade?	Satisfatória	Para se enquadrar nessa categoria, a resposta do estudante deverá contemplar o padrão de resposta, que é dividido em dois critérios, sendo eles: I) a definição de isótopos, ou seja, átomos que possuem o mesmo número atômico (Z) e diferentes números de massa (A) e II) alguma aplicação/importância dos isótopos na sociedade, seja na medicina nuclear, geração de energia, uso industrial (irradiação de alimentos), entre outras.
	Moderadamente Satisfatória	Nessa categoria serão classificados os estudantes cujas respostas atendam a apenas um dos dois critérios estabelecidos como padrão de resposta. Nessa perspectiva serão respostas consideradas “incompletas”
	Insatisfatória	Nessa categoria serão listadas as respostas que não satisfaçam a nenhum dos critérios estabelecidos
Tendo em vista que o átomo de ^{238}U sofre decaimento alfa, qual a característica das partículas emitidas e o que irá ocorrer com o núcleo do ^{238}U em cada emissão?	Satisfatória	Para se enquadrar nessa categoria, as respostas deverão contemplar o padrão de resposta, sendo eles: I) descrever que as partículas alfa (α) possuem carga positiva, massa atômica igual a 4 ($A=4$) e número atômico igual a 2 ($Z=2$); II) Descrever que a cada emissão, o núcleo do isótopo instável se rearranja diminuindo o número atômico em duas (2) unidades e a massa atômica em quatro (4) unidades.
	Moderadamente Satisfatória	Nessa categoria serão classificados os estudantes cujas respostas atendam a apenas um dos dois critérios estabelecidos como padrão de resposta. Nessa perspectiva serão respostas consideradas “incompletas”
	Insatisfatória	Nessa categoria serão listadas as respostas que não satisfaçam a nenhum dos critérios estabelecidos
Quais as principais diferenças entre as partículas alfa, beta e os raios gama?	Satisfatória	Nessa categoria serão listadas as respostas que obedecem a pelo menos um (1) dos critérios do seguinte padrão de resposta: I) Descrever que os raios alfa e beta são de natureza particulada, enquanto os raios gama são ondas eletromagnéticas; II) descrever que a partícula alfa possui carga positiva, a beta negativa, enquanto os raios gamas são fótons de alta energia; III) Descrever que as partículas alfa e beta ionizam diretamente por colisão, enquanto os raios gama ionizam de forma indireta (efeito fotoelétrico, Compton ou produção de pares).
		Nessa categoria ficarão as respostas que ao apresentarem um dos critérios mencionados no padrão de resposta, não o faça de modo coerente e objetivo. Desse modo as

	Moderadamente Satisfatória	respostas dessa categoria são consideradas as respostas confusas/incompletas.
	Insatisfatória	Essa categoria é destinada as respostas que não satisfaçam nenhum dos critérios listados no padrão de respostas.
Considerando as características das partículas alfa e beta, qual possui maior poder de penetração? Por quê?	Satisfatória	Nessa categoria serão listadas as respostas que obedecem ao padrão de resposta, dividido nos seguintes critérios: I) afirmar que a partícula beta possui maior poder de penetração; II) justificar que seu maior poder de penetração ocorre em virtude do seu menor volume em relação a partícula alfa, o que faz com que a partícula beta colida com um número menor de átomos/moléculas, perdendo energia de forma mais lenta que a partícula alfa e consequentemente penetrando uma distância maior no material.
	Moderadamente Satisfatória	Nessa categoria ficarão as respostas que apontarem apenas um (1) dos critérios descritos no padrão de resposta, tornando a resposta incompleta.
	Insatisfatória	Categoria destinada as respostas que não satisfaçam a nenhum dos critérios do padrão de resposta.
Qual é o tipo de partícula emitida pelo átomo está representada no esquema, e quais materiais ela consegue passar? Justifique sua resposta.	Satisfatória	Nessa categoria serão listadas as respostas que satisfaçam o padrão de resposta baseado nos seguintes critérios: I) citar que é uma partícula alfa no esquema; II) afirmar que a partícula alfa não consegue penetrar ao menos o papel; III) Descrever que o que justifica o fenômeno é o fato da partícula alfa possuir um grande volume, em razão de sua maior massa, o que faz com que ocorra uma colisão direta com um grande número de átomos pela maior superfície de contato, fazendo perder energia rapidamente possuindo baixo poder de penetração.
	Moderadamente satisfatória	Essa categoria é destinada as respostas que não atendam aos três (3) critérios descritos no padrão de resposta, ou seja, as respostas incompletas.
	Insatisfatória	Categoria destinada as respostas que não satisfaçam a nenhum dos critérios do padrão de resposta.

Fonte: O autor (2022).

Quadro 3 – Padrão de resposta do teste de transferência

(ENEM MEC/2012 - Adaptada) A falta de conhecimento sobre material radioativo e quais os efeitos, consequências e usos da irradiação pode gerar medo na população, e esta pode vir a tomar decisões equivocadas. Considerando, a afirmação simulada: “Uma empresa de logística e transporte negou-se a entregar um carregamento de salgadinhos e outros produtos alimentícios por esses apresentarem no rótulo a	Satisfatória	Nessa categoria serão listadas as respostas dos estudantes que atendam aos seguintes critérios: I) Responder que a atitude dos responsáveis da empresa é equivocada; II) justificar de forma clara, concisa e objetiva a razão da atitude ser equivocada, destacando principalmente que o alimento irradiado não entra em contato diretamente com a fonte (isótopo) radioativa, logo não é contaminado, nem oferece risco de contaminação por radiação à sociedade.
	Moderadamente satisfatória	Nessa categoria serão alocadas as respostas que apresentem uma ideia incompleta, ou seja, que destaque apenas um (1) dos critérios estabelecidos como padrão de resposta ou mencione ambos de forma confusa.

<p>informação de que foram tratados por um processo de irradiação”, você considera que a atitude dos responsáveis pela empresa foi correta ou equivocada? Justifique com suas palavras.</p>	<p>Insatisfatória</p>	<p>Categoria destinada as respostas que não satisfaçam a nenhum dos critérios do padrão de resposta.</p>
<p>O manuseio inadequado de um aparelho de radioterapia por catadores de lixo metálico, demonstrou a falta de conhecimento sobre materiais radioativos e os riscos a sua exposição à radiação. Esse manuseio expôs o sal contendo Césio-137 ao ambiente contaminando assim parte da população que moravam no entorno do ferro velho que armazenou o material radioativo, no município de Goiânia-GO. Considerando a representação do decaimento radioativo do Césio-137, a seguir (representação de uma emissão beta). Qual o tipo de emissão nuclear que ocorre no átomo de Césio-137? E, em sua opinião, por que é utilizado o Chumbo nos aparelhos de Radioterapia?</p>	<p>Satisfatória</p>	<p>Nessa categoria serão listadas as respostas dos estudantes que atendam aos seguintes critérios: I) Destacar que a emissão que ocorre na representação fornecida é uma partícula beta; II) Explicar que o chumbo utilizado nos aparelhos de radioterapia funciona como uma espécie de escudo, uma vez que devido ao número atômico elevado e a alta densidade do núcleo do chumbo as partículas alfa, beta e os raios gama não conseguem penetrar e ultrapassar o material.</p>
	<p>Moderadamente satisfatória</p>	<p>Nessa categoria serão alocadas as respostas que apresentem uma ideia incompleta, ou seja, que destaque apenas um (1) dos critérios estabelecidos como padrão de resposta ou mencione ambos de forma confusa.</p>
	<p>Insatisfatória</p>	<p>Categoria destinada as respostas que não satisfaçam a nenhum dos critérios do padrão de resposta.</p>
<p>(ENEM-2016 – Adaptada) Pesquisadores recuperaram DNA de ossos de mamute (<i>Mammuthus primigenius</i>) encontrados na Sibéria, que tiveram sua idade de cerca de 28 mil anos confirmada pela técnica do carbono-14. Sabendo que ao sofrer decaimento o Carbono-14 se transmuta em Nitrogênio-14, que tipo de emissão nuclear é emitida neste fenômeno? O mesmo poderia acontecer com o Carbono-12?</p>	<p>Satisfatória</p>	<p>Nessa categoria serão listadas as respostas dos estudantes que atendam aos seguintes critérios: I) Destacar que o tipo de decaimento sofrido pelo carbono-14 é o beta, emitindo assim uma partícula beta; II) Apontar que o carbono-12 não sofre decaimento beta, justificando essa afirmação citando a estabilidade do isótopo carbono-12.</p>
	<p>Moderadamente satisfatória</p>	<p>Nessa categoria serão elencadas as respostas que apresentem uma ideia incompleta, ou seja, que destaque apenas um (1) dos critérios estabelecidos como padrão de resposta ou mencione ambos de forma confusa.</p>
	<p>Insatisfatória</p>	<p>Categoria destinada as respostas que não satisfaçam a nenhum dos critérios do padrão de resposta.</p>
<p>(ENEM-2017 - Adaptada) O avanço científico e tecnológico da física nuclear permitiu conhecer, com maiores</p>		<p>Nessa categoria serão listadas as respostas que satisfaçam conceitualmente o seguinte critério: I) Descrever de forma objetiva, coesa e concisa que a radiação mencionada no</p>

<p>detalhes, o decaimento radioativo dos núcleos atômicos instáveis, desenvolvendo-se algumas aplicações para a radiação de grande penetração no corpo humano, utilizada na medicina, como por exemplo, no tratamento do câncer. Tendo a informação de que a radiação de grande penetração mencionada no texto possui a capacidade de penetrar uma placa densa de aço, e pode ser contida por uma placa de Chumbo, a que tipo de radiação você acha que o texto se refere? Explique com suas palavras.</p>	Satisfatória	enunciado da questão se refere aos raios gama; II) Destacar o fato da radiação gama ser muito penetrante a partir de sua natureza (ondas eletromagnéticas/fótons de alta energia).
	Moderadamente satisfatória	Nessa categoria serão elencadas as respostas que apresentem uma ideia incompleta, ou seja, que destaque apenas um (1) dos critérios estabelecidos como padrão de resposta ou mencione ambos de forma confusa.
	Insatisfatória	Categoria destinada as respostas que não satisfaçam a nenhum dos critérios do padrão de resposta.
<p>(UEM-PR - Adaptada) No período do acidente em Chernobyl houve um aumento no consumo de pílulas de Iodo, as quais foram distribuídas para a população exposta a radiação. Explique com suas palavras, quais as justificativas químicas e biológicas para que ocorra esta ação de distribuição.</p>	Satisfatória	Nessa categoria serão elencadas as respostas que apresentem um bom domínio acerca da temática, destacando que um dos isótopos radioativos presentes na atmosfera após a exposição do núcleo do reator é o iodo-131, que é proveniente do decaimento de isótopos mais instáveis. Além disso, as respostas devem mencionar a relação entre Iodo e tireoide fornecendo uma explicação biológica.
	Moderadamente satisfatória	As respostas alocadas nessa categoria serão as ditas “confusas”, ou seja, aquelas que apresentem elementos para responder conceitualmente o que se pede, porém de forma muito superficial ou incompleta.
	Insatisfatória	Categoria destinada as respostas que não satisfaçam o que se pede na questão

Fonte: O autor (2022)

As categorias foram criadas seguindo as orientações do trabalho de Carlomagno e Rocha (2016) que apontam que essas devem i) possuir regras claras sobre a inclusão ou a exclusão das respostas, ii) serem excludentes, ao ponto em que são exclusivas a um grupo de respostas, iii) serem restritas, não sendo muito amplas e conseqüentemente sendo homogêneas, iv) agruparem todos os conteúdos, e por fim v) serem objetivas, não sendo possível interpretações “subjetivas” a depender de quem analisa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS

As respostas obtidas no primeiro encontro, após a aplicação do questionário de conhecimentos prévios, evidenciaram algumas distorções no que concerne a compreensão dos estudantes sobre o tema radioatividade. De modo geral, pôde-se perceber que os estudantes costumavam confundir o fenômeno radioatividade com os tipos de radiações eletromagnéticas tais como: raios x, ondas de rádio, infravermelho, entre outras. Além disso, ainda que em alguns casos isolados, a interpretação da radioatividade como algo essencialmente perigoso era destacada pelos estudantes. Essa relação entre os termos perigo e radioatividade já era esperada, tendo em vista que como era o senso comum deles e esses não tinham participado de outra aula sobre a temática em momentos anteriores, infere-se que a construção do conhecimento pode ter ocorrido de forma equivocada, pois segundo Vasconcelos e Leão (2012) à maneira como as informações sobre a radioatividade são veiculadas nos meios de comunicação contribuem para essa interpretação distorcida.

A análise começa pela primeira pergunta do questionário aplicado, a qual buscava verificar o que os estudantes compreendiam, de forma prévia, por radioatividade. Nesse viés, as respostas eram livres, de modo que interferisse o mínimo possível na interpretação pessoal dos sujeitos participantes da pesquisa. No quadro 4 abaixo, estão elencadas as respostas para a primeira pergunta, sendo estas agrupadas em categorias que foram definidas a posteriori e com base no aspecto semântico.

Quadro 4 – Respostas obtidas para a primeira pergunta do questionário de conhecimentos prévios

QUESTÃO 1 - Considerando as situações que você pode ter ouvido falar sobre Radioatividade, o que você acha que significa este termo?		
CATEGORIAS	RESPOSTAS	QUANTIDADE
Algo perigoso	<i>Algo de fácil disseminação, que é perigoso – (JY3)</i> <i>Exibição de Alguma matéria tóxica – (LY2)</i>	2
Ondas eletromagnéticas	<i>“Atividade” normalmente parece ser uma ação, “radio” lembra as ondas sonoras, mas quando se fala de radioatividade se lembra de radiação,</i>	

	<i>então acredito que seja a emissão de radiação por meio de ondas – (LN1)</i> <i>Ondas emitidas por partículas – (CD4)</i> <i>É a liberação de alguma energia invisível – (IL5)</i>	3
Decaimento/instabilidade/emissão nuclear	<i>Significa que algo está em estado de emissão de alguma partícula ou onda – (LF6)</i> <i>Significa radiação, que é quando o átomo perde energia e decai para um de menor número atômico – (MT7)</i> <i>A instabilidade dos átomos – (AC8)</i>	3
Atividade	<i>Eventos de atividade que ocorre entre os átomos – (HG10)</i>	1

Fonte: O autor (2022)

No quadro 4, apresenta-se as respostas dos estudantes a partir do critério semântico, as quais remetem a uma compreensão da radioatividade como: algo perigoso, ondas eletromagnéticas, decaimento/instabilidade/emissão nuclear e atividade. Na primeira categoria listada, dois estudantes relacionaram o termo radioatividade a algo perigoso. Dessa forma, infere-se que essa interpretação limitada e restrita a algo “maléfico” apenas, decorre da maneira em que o tema radioatividade destacou-se na mídia ao longo das últimas décadas, tendo em vista que o tema costuma ser abordado a partir de um viés sensacionalista, no qual são usados como exemplos os acidentes que ocorreram no século XX (OLIVEIRA, *et al.*, 2014; EICHLER; CALVETE; SALGADO, 1997).

Na segunda categoria, foram listadas as respostas de três (3) estudantes que relacionavam a radioatividade às ondas eletromagnéticas de modo geral, ou seja, na perspectiva destes estudantes a radioatividade é equivalente a qualquer tipo de radiação eletromagnética. Esta generalização pode ocorrer devido à ausência de um estudo mais aprofundado sobre a radioatividade, fazendo com que os estudantes não consigam diferenciar os termos radioatividade e radiação, que é mais amplo e genérico. Dessa forma, há uma interpretação equivocada e errônea dos conceitos citados, nos quais ambos são considerados iguais (GOMBRADÉ; SILVA, 2021).

A terceira categoria comportou as três (3) respostas que mais se aproximaram do conceito científico da radioatividade, pois apontam termos como decaimento, emissão nuclear e instabilidade atômica. Na resposta de MT7, o estudante relacionou a radioatividade ao decaimento de um átomo para outro de menor número atômico, na medida em que uma energia é perdida.

“Significa radiação, que é quando o átomo perde energia e decai para um de menor número atômico” – (MT7)

Percebe-se que o estudante tentou citar a ocorrência do decaimento alfa, tendo em vista aspectos em sua resposta como a diminuição do número atômico, que é uma característica do decaimento alfa. De maneira análoga, outro estudante foi mais generalista ao apontar em sua resposta que podem ser emitidas tanto partículas quanto ondas.

“Significa que algo está em estado de emissão de alguma partícula ou onda” – (LF6)

Desse modo, infere-se que o estudante buscou citar os raios gama, na medida que cita as partículas, que seriam alfa e beta, e também as ondas que são características dos raios gamas e sua natureza eletromagnética. Nota-se, portanto, que os referidos estudantes já possuíam algum conhecimento prévio sobre a radioatividade em si, uma vez que mencionaram aspectos em suas respostas que se aproximam dos reais conceitos do fenômeno da radioatividade.

Na quarta e última categoria foi selecionada uma (1) única questão, em que o estudante se limitou a citar que a radioatividade era uma atividade que ocorre entre átomos. Dessa forma, infere-se que o estudante tentou apenas identificar o significado do termo radioatividade, na tentativa de isolar o termo “atividade” e na tentativa de relacionar em como ocorre no fenômeno mencionado.

Na segunda pergunta, buscou-se compreender se os estudantes consideravam a radioatividade como algo benéfico, maléfico ou ambos, no que diz respeito às implicações na sociedade. Nesse contexto, foram criadas as três características em consonância com o que se pede na questão, na medida em que eram realizadas as análises. No quadro 5 abaixo estão listadas as respostas dos estudantes em suas referidas categorias.

Quadro 5 – Respostas obtidas para a segunda pergunta do questionário de conhecimentos prévios

<p>QUESTÃO 2 - Em relação ao que compreende por radioatividade, você acredita que suas implicações na sociedade são benéficas, maléficas ou ambas? Por quê?</p>
--

CATEGORIAS	RESPOSTAS	QUANTIDADE
Benéficas	<i>Benéficas, pois eu não costumo, por exemplo, jogar coisas que podem ser radioativas no lixo – (LY2)</i>	1
Maléficas	X	0
Ambas	<p><i>Ambas, benéficas devido as usinas nucleares e a capacidade de energia que pode gerar. Maléficas devido aos possíveis acidentes que podem ocorrer – (HG10)</i></p> <p><i>Tem intenções benéficas, mas acabam causando problemas – (AC8)</i></p> <p><i>Ambas, porque ela pode ser utilizada para gerar energia de forma mais limpa, porém ainda não tem uma maneira certa de descartar os resíduos e ainda existe o risco de acidente – (MT7)</i></p> <p><i>Acredito que ambas, pois ao mesmo tempo em que propiciou a criação de armas nucleares, como bombas, também propiciam energia limpa e várias funcionalidades na medicina, depende da forma em que ela é utilizada – (LF6)</i></p> <p><i>Ambas, radioatividade pode beneficiar a vida humana e também prejudicá-la – (IL5)</i></p> <p><i>Ambas. De resumo: bomba nuclear e raio x – (CD4)</i></p> <p><i>Em sua maioria, maléficas. Pois tais implicações exigem preparo e treinamento intensificado para serem realizadas de forma segura (o que nem sempre é fornecido adequadamente) – (FN9)</i></p> <p><i>Maléficas e benéficas, por exemplo os raios x utilizados para descobrir doenças, apesar de serem maléficos a saúde, são também importantes – (JY3)</i></p> <p><i>Depende da intenção de quem vai usá-la, acredito que a ultrassom seja usado com</i></p>	9

	<i>radioatividade, e é feito para o bem, já as bombas atômicas de 1945 foram usadas para o mal – (LN1)</i>	
--	--	--

Fonte: O autor (2022)

Dessa forma, percebe-se que houve quase um consenso que a radioatividade pode ser benéfica ou maléfica a depender do seu uso, indo na contramão do que se observa na literatura, e levando a crer que nos dias atuais os estudantes têm apresentado essa maior criticidade devido a maior possibilidade de pesquisar e se aprofundar sobre o tema com o auxílio dos recursos tecnológicos e da internet. Além disso, apenas um (1) estudante divergiu da maioria ao apontar a radioatividade como unicamente benéfica. Verifica-se que os demais estudantes apresentaram uma criticidade e reflexão que os permitiu diferenciar entre os benefícios para sociedade e os casos isolados de negligência, imperícia, uso proposital como armas nucleares e acidentes decorrentes de fenômenos da natureza, como o caso da usina de Fukushima. Abaixo estão transcritas as respostas de dois (2) estudantes que permitem verificar essa criticidade.

“Acredito que ambas, pois ao mesmo tempo em que propiciou a criação de armas nucleares, como bombas, também propiciam energia limpa e várias funcionalidades na medicina, depende da forma em que ela é utilizada” – (LF6)

“Ambas, benéficas devido às usinas nucleares e a capacidade de energia que pode gerar. Maléficas devido aos possíveis acidentes que podem ocorrer” – (HG10)

No entanto, cabe destacar que embora houvesse a criticidade para diferenciar malefícios e benefícios, a maioria das respostas possui uma definição equivocada do fenômeno da radioatividade, uma vez que foi atribuído a radiação eletromagnética de modo geral à radioatividade, como pode-se perceber na resposta listada abaixo:

“Maléficas e benéficas, por exemplo os raios x utilizados para descobrir doenças, apesar de serem maléficos a saúde, são também importantes” – (JY3)

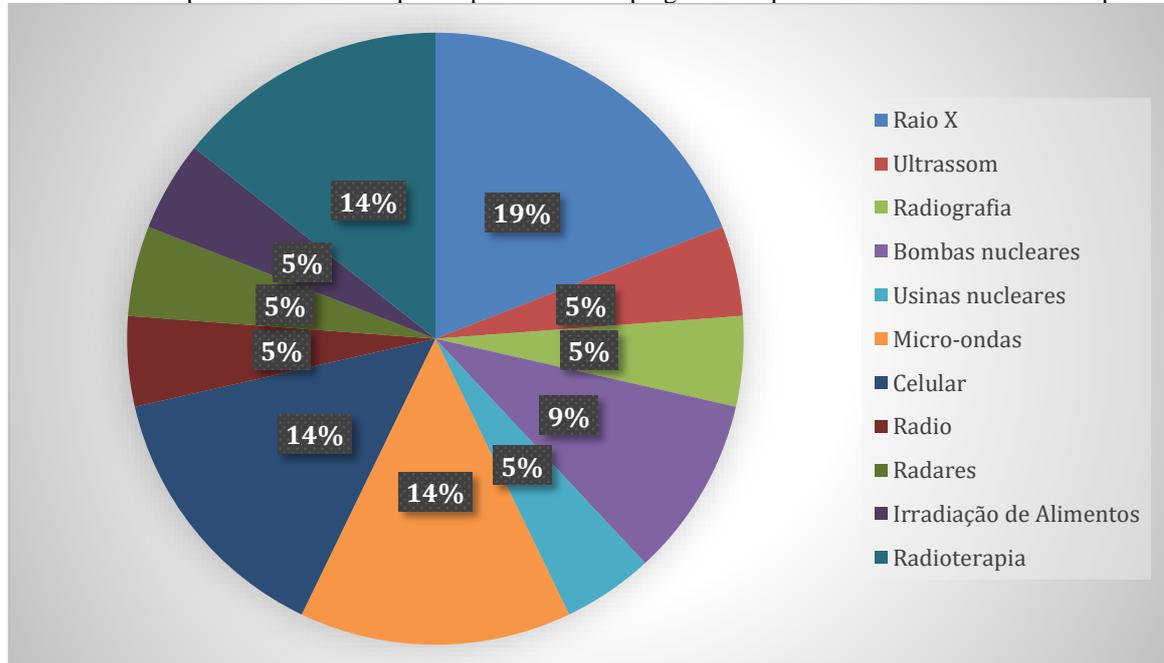
Ademais, pode-se inferir que o fato de as radiações eletromagnéticas estarem presentes no dia a dia da população através de equipamentos mais conhecidos (micro-ondas, máquinas de raio x, controle remoto, dentre outros) faz com que os estudantes generalizem o termo “radiação” o associando de forma equivalente à radioatividade, prevalecendo o senso comum.

No tocante à análise da terceira questão, foi solicitado os exemplos que os estudantes conhecem de aplicações da radioatividade na sociedade. Na análise, identifica-se que as radiações eletromagnéticas ganham um destaque e enfoque maior como sendo exemplos práticos de radioatividade no dia a dia. Ademais, os estudantes, naturalmente, não compreendem a radioatividade como sendo um fenômeno que ocorre em núcleos de átomos instáveis, que sofrem decaimento, liberam energia, e emitem partículas alfa/beta e raios gama, sendo a radioatividade como um produto do decaimento nuclear (ATKINS; JONES, 2012).

No gráfico 1, identifica-se as respostas dos estudantes, predominando aspectos do senso comum, em que radiações eletromagnéticas como infravermelho, raios x, micro-ondas, ondas de rádio, foram atribuídas de forma equivocada à radioatividade, tornando perceptível as dificuldades dos estudantes em distinguir fenômenos associados aos dois termos (GOMBRADÉ; SILVA, 2021). Mesmo assim, identifica-se aplicações corretas como a radioterapia, que é utilizada para o tratamento do câncer quando esse não tem sofrido metástase; às usinas nucleares, que geram energia elétrica a partir do calor gerado nas reações nucleares; e as bombas atômicas, que diferentemente dos exemplos anteriores, ganha destaque pelas notícias envolvendo a segunda guerra mundial.

Logo, faz-se necessário desconstruir essa compreensão equivocada sobre a radioatividade, para ampliar a compreensão das aplicações do desenvolvimento científico e tecnológico atrelado a temática.

Gráfico 1 – Exemplos obtidos nas respostas para a terceira pergunta do questionário de conhecimentos prévios



Fonte: O autor (2022)

Prosseguindo, agora com a análise das respostas da quarta questão, houve três categorias distintas com base nas informações destacadas pelos estudantes, sendo elas: barreira contra a radiação, glândula tireoide e não sabe, sendo essa última destinada aos estudantes que não conseguiram deduzir ou explicar algo relacionado ao fenômeno. No quadro 6, estão descritas as respostas e suas respectivas categorias.

Quadro 6 – Respostas obtidas para a quarta pergunta do questionário de conhecimentos prévios

QUESTÃO 4 - Analisando os trechos do noticiário a seguir, você consegue explicar o porquê do governo japonês distribuir as cápsulas de Iodo para a população, após o acidente em Fukushima?		
CATEGORIAS	RESPOSTAS	QUANTIDADE
Barreira contra a radiação	<p><i>O Iodo deve ter alguma propriedade que ajude a combater ou proteger tal radiação – (CD4)</i></p> <p><i>Porque o Iodo é um elemento mais leve que consegue barrar a radiação – (MT7)</i></p> <p><i>Porque o Iodo tende a ser uma barreira para a radioatividade - (IL5)</i></p>	3
Não sabe	X	5
Glândula tireoide	<p><i>Para evitar acidentes com a glândula tireoide – (HG10)</i></p> <p><i>Diria que por eventuais problemas causados na tireoide – (LF6)</i></p>	2

Fonte: O autor (2022)

Identifica-se que cinco (5) estudantes não souberam responder o que se perguntava na questão, nem emitiram opinião ou dedução sobre o tema. E os demais responderam considerando dois pontos de vista diferentes: um direcionado para a interpretação como uma barreira e o outro relacionado com a glândula tireoide. Os que consideraram o Iodo com uma barreira, não apresentaram nenhum aspecto que justificasse a opinião emitida, como na resposta abaixo.

“O Iodo deve ter alguma propriedade que ajude a combater ou proteger tal radiação” – (CD4)

Infere-se disso que os estudantes perceberam que o Iodo era distribuído com o intuito de minimizar os impactos da radiação, porém não compreendiam como o processo ocorria e como o Iodo interagia com o organismo humano e com a radiação.

Paralelamente, outros dois (2) estudantes conseguiram associar a utilização do Iodo à glândula tireoide, como percebe-se nas respostas abaixo.

“Para evitar acidentes com a glândula tireoide” – (HG10)

“Diria que por eventuais problemas causados na tireoide” – (LF6)

Dessa forma, torna-se perceptível que os estudantes conseguiram associar a importância do Iodo para a glândula tireoide, embora não tenham deixado explícito que na ausência do Iodo estável (das pílulas) ocorre uma contaminação da tireoide com o Iodo-131, que é um dos produtos provenientes do decaimento de átomos instáveis que foram lançados na atmosfera (VASCONCELOS, 2015), levando em consideração o acidente referido no enunciado da questão. Sendo assim, essas respostas foram as que mais se aproximaram de uma definição científica amplamente aceita, podendo-se então concluir que em algum momento de suas vidas, os estudantes (HG10 e LF6) tiveram contato com informações sobre o tema.

Na quinta questão, as respostas dos estudantes convergiram para um entendimento de que o processo de irradiação dos alimentos não traz mal ao consumidor, contudo, dentro dessa categoria as justificativas foram distintas, com estudantes utilizando como argumentos os quais remetiam a vigilância sanitária/controlar de qualidade dos alimentos e outro defendendo que a radiação presente nos alimentos não é suficiente para causar danos no consumidor. No quadro 7, identificam-se as respostas alocadas em suas referidas categorias.

Quadro 7 – Respostas obtidas para a quinta questão do questionário de conhecimentos prévios

QUESTÃO 5 - Analisando o rótulo de alimento a seguir (imagem fornecida no teste), o consumo deste produto alimentício traria algum mal ao consumidor, mediante a informação de que ele contém ingredientes que passaram pelo processo de ‘irradiação’?		
CATEGORIAS	RESPOSTAS	QUANTIDADE
Sem mal ao consumidor	<p><i>Acredito que não – (LF6)</i></p> <p><i>Provavelmente não, pois se fosse algo prejudicial, a defesa do consumidor iria produzir – (HG10)</i></p> <p><i>Não, não traria mal ao consumidor – (IL5)</i></p> <p><i>Não, pois acredito que a radiação é não ionizante e não é perigosa para nós – (MT7)</i></p> <p><i>Acredito que a irradiação signifique remoção da radiação, logo não – (CD4)</i></p>	8

	<p><i>Acho que não, pois alguns alimentos possuem um nível de radiação mesmo que baixo – (AC8)</i></p> <p><i>Não necessariamente, já que a fiscalização na indústria alimentícia é altamente reforçada, acredito que seria necessária uma grande quantidade para causar algum dano ao consumo – (FN9)</i></p> <p><i>Não, pois eles já foram tratados – (LY2)</i></p>	
Não sabe	X	2

Fonte: O autor (2022)

Na categoria “sem mal ao consumidor”, identifica-se que um estudante justificou que o alimento tratado por processo de irradiação não faz mal para o consumo pelo fato de a radiação presente apresentar baixa energia, conforme a respostas de AC8.

“Acho que não, pois alguns alimentos possuem um nível de radiação mesmo que baixo” – (AC8)

Percebe-se que o estudante relacionou a irradiação de alimentos com a radiação natural emitida por alguns alimentos, tais como banana, feijão, dentre outros, sendo essa radiação justificada pela presença de elementos químicos como o Potássio (K) em suas composições e que está presente diariamente na dieta do ser humano em quantidades baixas (COUTO; SANTIAGO, 2010).

No entanto, esse não é o cerne da questão, tendo em vista que o processo de irradiação não envolve a radiação emitida pelos elementos que compõem o alimento em si, mas a exposição do alimento a partículas (geralmente beta) e ondas (raios gama) oriundos de um elemento radioativo - Cobalto-60 que é instável e sofre decaimento - com o objetivo de esterilizar, evitar brotamento e maturação, bem como a decomposição. A aplicação desta técnica prolonga o tempo de armazenamento dos alimentos em condições propícias para o consumo humano (EICHLER; CALVETE; SALGADO, 1997).

Nessa perspectiva, ressalta-se que este processo não causa danos à saúde, pois além do alimento não entrar em contato direto com a fonte radioativa que poderia contaminá-lo, os átomos e moléculas que compõem o alimento não têm seus núcleos modificados, visto que a radiação a qual são submetidos apesar de ionizante não dispõe de energia suficiente para ocasionar essas alterações nucleares (TEZOTTO-ULIANA, *et al.*, 2015).

Cumpra ainda apontar que outros estudantes deduziram que pelo fato dos alimentos serem liberados para venda e posterior consumo, esses não apresentariam riscos à saúde pública, uma vez que os órgãos fiscalizadores permitiam essa distribuição. Apesar dessa inferência, os estudantes não explicaram o papel do processo de irradiação em si, se limitando apenas a apontar que era inofensivo, como pode-se perceber nas respostas transcritas abaixo.

“Não necessariamente, já que a fiscalização na indústria alimentícia é altamente reforçada, acredito que seria necessária uma grande quantidade para causar algum dano ao consumo” – (FN9)

“Provavelmente não, pois se fosse algo prejudicial, a defesa do consumidor iria produzir” – (HG10)

Por fim, na análise da sexta e última pergunta do questionário, percebeu-se que a maioria dos estudantes assistiram a algum filme/série/animação sobre o tema radioatividade, descrevendo que o filme direcionava a interpretação da radioatividade como algo maléfico. No quadro 8 abaixo, identificam-se as respostas dos estudantes em suas respectivas categorias.

Quadro 8 – Respostas obtidas para a sexta pergunta do questionário de conhecimentos prévios

QUESTÃO 6 - Já assistiu algum filme, série ou animação que abordava sobre a radioatividade? Se sim, como a radioatividade era destacada? (algo bom, ruim, etc.)		
CATEGORIAS	RESPOSTAS	QUANTIDADE
Sim/algo bom e ruim	<i>Sim, algumas vezes bom, outras ruim – (CD4)</i> <i>Sim, geralmente é tratado sobre os acidentes que ocorreram, mas também tem a história da mulher que descobriu (não lembro o nome), relacionar o desenvolvimento do câncer e suas aplicações – (MT7)</i>	2
Não	<i>Não lembro de ter assistido filme sobre isso – (LY2)</i> <i>Não assisti – (AC8)</i>	2
Sim/algo ruim	<i>A série Chernobyl, a ideia era boa para as pessoas que não eram as cabeças do projeto, mas para os cabeças, os chefões, as ideias não eram muito boas – (LN1)</i> <i>Já li livros sobre, em sua maioria sobre acidentes nucleares e seus perigos, logo, a representação foi bem negativa – (FN9)</i> <i>Sim, como ruim – (IL5)</i> <i>Sim, tratava como algo ruim (HG10)</i>	5

	<i>Geralmente era destacada como algo ruim, visto que uma das principais pautas sobre o tema radioatividade são os acidentes nucleares – (LF6)</i>	
--	--	--

Fonte: O autor (2022)

Mesmo cinco (5) estudantes informando que tinham assistido filmes que traziam uma concepção da radioatividade voltada para algo maléfico, eles não citaram nomes específicos. Essas respostas já eram esperadas, tendo em vista que a maioria das mídias audiovisuais retratam os acidentes e eventos que ocorreram ao longo da história, tais como: As bombas de Hiroshima e Nagasaki, o acidente de Chernobyl, o Acidente de Fukushima, dentre outros (VASCONCELOS, 2015). Além disso, a forma como esses eventos são retratados envolvem uma perspectiva sensacionalista, em que não favorece a criticidade e reflexão dos telespectadores, ou seja, apenas reforça a visão distorcida pelo tema. As respostas dos estudantes *FN9* e *LF6* destacam bem essa abordagem sensacionalista dos filmes.

“Geralmente era destacada como algo ruim, visto que uma das principais pautas sobre o tema radioatividade são os acidentes nucleares” – (LF6)

“Já li livros sobre, em sua maioria sobre acidentes nucleares e seus perigos, logo, a representação foi bem negativa” – (FN9)

Inferese dessas respostas que os estudantes se referiram aos filmes sobre Chernobyl e Fukushima, devido ao fato de apontarem essencialmente os acidentes nucleares. Ademais, cabe ressaltar que apesar de algumas mídias audiovisuais serem sensacionalistas, outras retratam a radioatividade a partir de uma perspectiva mais crítica, como é o caso da série Chernobyl da *HBO*, no qual há um destaque para a negligência e imprudência dos governantes, bem como para a imperícia dos trabalhadores da usina nuclear, ou seja, a série permite entender a culpa do ser humano por trás do acidente.

Outros estudantes citaram ainda que em alguns casos os filmes retrataram a radioatividade como algo benéfico, como é o caso da resposta destacada abaixo.

“Sim, geralmente é tratado sobre os acidentes que ocorreram, mas também tem a história da mulher que descobriu (não lembro o nome), relacionar o desenvolvimento do câncer e suas aplicações” – (MT7)

Infere-se disso que o filme ao qual o estudante acima se referiu podem ser duas possibilidades, sendo elas: o filme *Radioactive* que retrata a história de Marie Curie, sendo essa a hipótese menos provável, tendo em vista que o desenvolvimento do câncer não ganha um destaque no filme; e a segunda hipótese mais provável o filme de Erin Brockovich, que retrata a história de um problema com um lago contaminado em uma cidade, que faz os moradores desenvolverem o câncer.

A análise das respostas referentes ao questionário de conhecimentos prévios é de suma importância no decorrer do desenvolvimento dos resultados, tendo em vista que de acordo com Mayer (2001) durante a apresentação de mensagens educacionais multimídias, como é o caso dos elementos presentes na sequência didática, o estudante se submete a 5 tipos de processos cognitivos, sendo um deles a integração, em que nesse processo ocorre uma relação entre as informações verbais e pictóricas selecionadas na memória de trabalho, assim como é feita uma integração desses modelos com a memória de longo prazo, relacionado com os conhecimentos pré-existentes (MAYER, 2001).

Nesse viés, com base nas respostas obtidas no questionário de concepções sobre o tema radioatividade, pôde-se verificar que os estudantes não possuíam um sólido conhecimento sobre o tema, o que já era esperado visto que não tinham tido aula sobre a radioatividade até o momento da aplicação do questionário, garantindo assim uma maior lisura de que as informações obtidas nas respostas provenientes dos testes de retenção e de transferência basearam-se nas informações destacadas nas mensagens educacionais multimídia da sequência didática. Além disso, esta ação viabiliza a análise de se identificar a possível (re)construção das concepções sobre a radioatividade, junto aos recursos multimídia e de simulações da sequência didática.

5.2 TESTE DE RETENÇÃO

A análise dos resultados do teste de retenção (APÊNDICE C) começou com a categorização das respostas obtidas em sua aplicação, que ocorreu em momento posterior ao segundo encontro através da disponibilização desse em uma plataforma online. Cabe destacar que os critérios cobrados como padrão de resposta para a seleção nas categorias foram estruturados de acordo com as informações veiculadas nas etapas da sequência didática, através das mensagens educacionais multimídias. A figura 1 abaixo é referente ao segundo encontro da sequência didática.

Figura 1 – Aplicação do segundo momento da sequência didática



Fonte: O autor (2022)

De modo geral, percebeu-se que os estudantes apresentaram argumentos aceitáveis ao responderem às perguntas realizadas, embora alguns equívocos conceituais também fossem percebidos. Apesar disso, os resultados foram satisfatórios, tendo em vista que apenas 1 encontro não seria suficiente para desconstruir toda uma concepção anterior presente na memória de longo prazo dos estudantes. Cabe ainda ressaltar que mesmo com os equívocos mencionados ainda foi possível observar aspectos relevantes nas interpretações.

Iniciando-se a análise pela primeira pergunta, a qual pedia a definição dos isótopos e suas implicações na sociedade, os estudantes conseguiram assimilar significativamente as informações sobre os isótopos apresentadas no segundo encontro, tendo em vista que dos sete (7) estudantes que responderam o teste de retenção, três (3) respostas foram alocadas na categoria satisfatória e as outras quatro (4) na categoria moderadamente satisfatória, ou seja, nenhum dos estudantes responderam de modo que a resposta fosse insatisfatória. Atribui-se esses resultados a organização estratégica das informações sobre os isótopos, como mensagem educacional multimídia, no segundo encontro, o que pode ter ocasionado em uma melhor compreensão por parte dos estudantes. O quadro 9 destaca as respostas para a primeira questão e as suas categorias.

Quadro 9 – Respostas obtidas para a primeira pergunta do teste de retenção

QUESTÃO 1 - O que são elementos classificados como isótopos e qual a sua importância para a sociedade?		
Satisfatória	Moderadamente Satisfatória	Insatisfatória
<i>São os mesmos elementos só que com massas diferentes, acho que são importantes porque estão presentes em várias coisas, como o exemplo</i>	<i>Elementos que apresentam o mesmo número de prótons, porém o número de massas diferentes – (NC12)</i>	

<i>do C-14 que dá pra fazer os estudos de meia vida – (GB11)</i>		
<i>Isótopos são elementos que tem o mesmo número de prótons, mas apresentam quantidades variadas de nêutrons, eles são importantes porque diferentes tipos de isótopos apresentam níveis de radioatividade diferente, como o carbono¹⁴ que nos ajuda a datar a idade dos fósseis – (MT1)</i>	<i>Os isótopos são elementos que possuem seus átomos possuem a mesma quantidade de prótons. Esses isótopos são muito importantes para a geologia, para determinar a idade dos fósseis, importante na medicina para fazer tratamento de certas doenças, e também na indústria, para conservar os alimentos, entre outras importâncias – (LNI)</i>	
<i>Isótopos são elementos que têm o mesmo número de prótons, mas podem se diferenciar pelo número de nêutrons. Uma das suas aplicações é a datação por carbono – (YR14)</i>	<i>Isótopos são os elementos que possuem mesmo número de prótons e são importantes para sociedade porque alguns emitem radiação e podem ser usados na medicina – (JY3)</i>	
	<i>são os elementos que tem mesma quantidade de prótons (massa atômica), e eles tem várias aplicabilidades na sociedade como por exemplo o carbono 14 que ajuda a fazer a datação radiométrica – (GL13)</i>	

Fonte: O autor (2022)

Os estudantes que foram classificados com respostas satisfatórias, destacaram a definição de isótopos e exemplos de suas implicações na sociedade, como GB11:

“São os mesmos elementos só que com massas diferentes, acho que são importantes porque estão presentes em várias coisas, como o exemplo do C-14 que dá pra fazer os estudos de meia vida” – (GB11)

Infere-se dessa resposta que o estudante selecionou imagens e palavras, a partir das representações pictóricas dos isótopos durante a aula, organizando-as em modelos verbais e visuais sua memória de trabalho, e conseguindo assim, responder o que se pede na pergunta do teste de forma satisfatória. Dessa forma, houve uma recordação do conteúdo por parte do estudante mencionado, pois tendo como base a função do teste de retenção, esse permite verificar o quanto o estudante recorda a informação apresentada (MAYER, 2001).

No que concerne às respostas selecionadas na categoria moderadamente satisfatória, houve a ausência de um dos critérios que respondiam conceitualmente o que se pedia no enunciado da questão, tornando assim a resposta incompleta. As respostas abaixo ilustram bem essas ausências.

“Elementos que apresentam o mesmo número de prótons, porém o número de massas diferentes” – (NC12)

“Os isótopos são elementos que possuem seus átomos possuem a mesma quantidade de prótons. Esses isótopos são muito importantes para a geologia, para determinar a idade dos fósseis, importante na medicina para fazer tratamento de certas doenças, e também na indústria, para conservar os alimentos, entre outras importâncias” – (LNI)

Nota-se na resposta do estudante *NC12* que ele não citou uma implicação dos isótopos na sociedade, tornando-a incompleta. Além disso, percebe-se que a sua definição de isótopos ainda é um pouco confusa, tendo em vista que deveria ser citado que isótopos são “átomos” de um mesmo elemento, e não “elementos”, ou seja, uma troca de termos faz com que se identifique equívocos nas respostas. Porém, é compreensível que os estudantes cometam esses deslizes, uma vez que apenas um encontro não é suficiente para que haja uma aprendizagem tão significativa a ponto de não haver nenhum erro. De maneira análoga, o estudante *LNI* definiu isótopos equivocadamente, ao não citar a diferença entre as massas, e descreveu satisfatoriamente exemplos de implicações na sociedade, sendo assim sua resposta satisfez apenas 1 critério, tornando-se incompleta.

De modo geral, pôde-se perceber que os estudantes confundiram os termos átomos e elementos em algumas respostas, essencialmente quando foram descrever a definição de Isótopos, no entanto, cumpre informar que esses equívocos não tiveram peso na categorização das respostas, tendo em vista que não foi destacada a diferença entre esses conceitos durante a sequência didática. Sendo assim, por ser uma construção do conhecimento de outros conteúdos e que já estava presente na memória de longo prazo dos estudantes, a presente pesquisa considerou os termos átomos e elementos como equivalentes para considerar esta resposta na categoria específica.

Prosseguindo com a análise da segunda questão, a qual perguntava uma situação específica que ocorre com o isótopo Urânio-238, três (3) respostas foram consideradas satisfatórias, duas (2) foram consideradas moderadamente satisfatórias e outras duas (2) respostas foram consideradas insatisfatórias, conforme identifica-se no quadro 10.

Quadro 10 – Respostas obtidas para a segunda pergunta do teste de retenção

QUESTÃO 2 - Tendo em vista que o átomo de ^{238}U sofre decaimento alfa, qual a característica das partículas emitidas e o que irá ocorrer com o núcleo do ^{238}U em cada emissão?		
Satisfatória	Moderadamente Satisfatória	Insatisfatória
<i>A partícula emitida terá massa atômica de 4 e número atômico 2, enquanto o U vai ter massa 234 e o número atômico vai mudar para 90, que é o elemento Th – (GB11)</i>	<i>ele se transformará no elemento de massa atômica 90 (visto q o uranio é 92) e de massa 234, ou seja, o Th-234 – (GL13)</i>	<i>As partículas emitidas irão "interagir" com outros átomos – (NC12)</i>
<i>As partículas emitidas desse decaimento é um átomo de Hélio com 2 prótons e 2 nêutrons, tem baixo poder de penetração e apresenta o maior grau de ionização, o urânio irá decair e se transformar no Tório 234 – (MT7)</i>	<i>Essa partícula emitida terá potencial radioativo e o núcleo do elemento terá uma diminuição de prótons e nêutrons- (YR14)</i>	<i>Origina o Tório – (JY3)</i>
<i>Essa partícula alfa que é emitida pelo U - 238 possui dois prótons e dois nêutrons, e origina um núcleo de Th - 234 em cada emissão – (LNI)</i>		

Fonte: O autor (2022)

Percebe-se que os estudantes cujas respostas se encaixam na categoria satisfatória compreenderam que era necessário descrever as características da partícula alfa e o que ocorre com o núcleo do Urânio-238 no momento posterior ao decaimento. Dessa forma, ao atenderem de forma satisfatória os critérios estabelecidos como padrão de resposta, os estudantes satisfizeram conceitualmente essa pergunta do teste de retenção. Nota-se esses elementos destacados nas respostas dos estudantes transcritas abaixo.

“A partícula emitida terá massa atômica de 4 e número atômico 2, enquanto o U vai ter massa 234 e o número atômico vai mudar pra 90, que é o elemento Th” – (GB11)

“Essa partícula alfa que é emitida pelo U - 238 possui dois prótons e dois nêutrons, e origina um núcleo de Th - 234 em cada emissão” – (LNI)

Infere-se disso que os estudantes conseguiram organizar as informações necessárias em suas memórias de trabalho, a partir da apresentação de mensagens educacionais multimídias contidas no slide que evidenciava a representação de uma partícula alfa e trazia informações verbais de forma concomitante, ou seja, atendendo ao princípio da contiguidade (MAYER;

MORENO, 2002). Além disso, a exploração da simulação *PhET* decaimento alfa pode ter contribuído para esse entendimento, tendo em vista que foi explorada uma representação dinâmica de um núcleo instável que sofria decaimento alfa e tinha sua massa reduzida em 4 e o número atômico em 2, se transmutando assim em outro elemento, o que conseqüentemente convergiu com a literatura no tocante ao fato da simulação permitir a visualização e interpretação de modelos representacionais do fenômeno em estudo (ARAÚJO; NETO; OLIVEIRA, 2021; MACHADO, 2016; RIBEIRO; GRECA, 2003). Dessa forma, os estudantes puderam verificar através de representações não estáticas uma simulação do que ocorre no decaimento alfa, podendo tanto identificar a representação do núcleo no momento posterior ao decaimento quanto da partícula alfa emitida.

No tocante às respostas considerada moderadamente satisfatórias, os estudantes descreveram apenas o que acontecia com o núcleo do isótopo Urânio-238 após o decaimento, ou seja, não se preocuparam em descrever as características da partícula alfa emitida como se pede na questão, tornando assim as respostas, como a destacada abaixo, incompletas.

“ele se transformará no elemento de massa atômica 90 (visto que o uranio é 92) e de massa 234, ou seja, o Th-234” – (GL13)

Infere-se disso que o estudante compreendeu as características da partícula alfa, pelo fato de descrever corretamente como fica o núcleo atômico após o decaimento, embora não as tenha citado. Além disso, pode-se notar que o estudante utilizou erroneamente o termo massa atômica, visto que em sua resposta ele se referiu ao número atômico, de todo modo a resposta se encaixou na categoria moderadamente satisfatória. Percebe-se então que a simulação *PhET* decaimento alfa contribuiu de forma significativa nesse sentido ao detalhar de forma dinâmica a representação do núcleo, permitindo que os estudantes pudessem verificar esse comportamento nuclear pós decaimento. Além disso, indo de encontro com as informações destacadas por Moreno e Heidelmann (2017) durante a exploração da simulação foram realizadas alterações no sistema, como a troca da representação atômica exemplificada na simulação por uma de outro elemento igualmente radioativo, o provavelmente pode ter contribuído para uma melhor compreensão do fenômeno. Cabe ainda destacar que a forma como foi explorada a simulação, relacionando a parte pictórica com as informações narradas sobre o fenômeno, estava de acordo com o pressuposto do canal duplo da TCAM e com o princípio da contiguidade (MAYER, 2001; MAYER; MORENO, 2002), tornando assim a simulação uma mensagem educacional multimídia com o intuito de promover a aprendizagem.

Por fim, nas duas (2) respostas que se foram alocadas na categoria insatisfatória, os estudantes não mencionaram nenhum dos critérios do padrão de resposta, e dessa forma, não satisfizeram conceitualmente o que se pedia na questão, conforme pode-se perceber em uma das respostas transcritas abaixo.

“As partículas emitidas irão "interagir" com outros átomos” – (NC12)

Nota-se na resposta supracitada que o estudante deu uma definição genérica, não detalhando nem as características da partícula alfa nem o rearranjo do núcleo após o decaimento. Depreende-se disso que o estudante não conseguiu organizar as informações apresentadas nas mensagens educacionais multimídias dos slides e da simulação em sua memória de trabalho, uma vez que não as descreveu no teste de retenção.

Essa situação era esperada por alguns fatores, principalmente pelo tempo reduzido e limitado de aplicação da sequência didática, sendo eles: tempo de aprendizagem distintos entre os estudantes; limitações da sequência didática e da simulação; além do fato de ser um estudo em fase de testes. Nessa perspectiva, é de se esperar que um (1) encontro não seja suficiente para desconstruir toda uma concepção que os estudantes já possuem e, portanto, desvios como essas respostas são esperados. Nesse viés, cabe destacar que uma aplicação contínua e cumulativa de estratégias didáticas baseadas na TCAM e que explorem simulações pode ser mais eficiente no sentido de minimizar os índices de respostas insatisfatórias.

As respostas obtidas na terceira questão do teste de retenção, evidenciaram equívocos na diferenciação entre os tipos de radiações alfa, beta e gama. Três (3) respostas se inseriram na categoria satisfatória, três (3) na categoria moderadamente satisfatória e uma (1) na categoria insatisfatória, conforme apresentado no quadro 11.

Quadro 11 – Respostas obtidas para a terceira pergunta do teste de retenção

QUESTÃO 3- Quais as principais diferenças entre as partículas alfa, beta e os raios gama?		
Satisfatória	Moderadamente Satisfatória	Insatisfatória
<i>A partícula alfa é a com núcleo mais pesado e é pouco penetrante, podendo ser parado até por uma folha de papel; a partícula beta tem massa muito pequena, um nêutron vira um próton e por ser menor consegue ser mais penetrante. Os raios betas não é uma partícula, não tem massa, é só uma</i>	<i>alfa e beta são de fato partículas emitidas. Raios gamas são ondas eletromagnéticas na frequência de raios gamas que de fato</i>	<i>Sua capacidade penetrativa e os</i>

<i>energia liberada e sempre junto de alguma dessas outras partículas, por ter uma energia muito grande consegue atravessar até aço – (GB11)</i>	<i>interagem ionizando os elétrons – (NC12)</i>	<i>elementos que compõem cada uma delas – (YR14)</i>
<i>Partícula alfa libera um átomo de Hélio com 2 prótons e 2 nêutrons, tem o maior poder de ionização, porém tem o menor poder de penetração. Partícula Beta libera um elétron, é quando um nêutron é convertido em um próton e libera um elétron, tem um poder de penetração maior de que a partícula alfa só que apresenta um grau de ionização maior. Raios gama são ondas eletromagnéticas que são liberadas junto da radiação alfa e beta que apresenta o maior nível de penetração, mas tem o menor grau de ionização, sua ionização também é chamada de ionização indireta – (MT7)</i>	<i>A partícula alfa, apresenta carga positiva, a partícula beta apresenta carga negativa e a partícula gama tem carga neutra – (JY3)</i>	
<i>Os raios alfas possuem dois prótons e dois nêutrons, de carga positiva 2+ e com massa 4. Os raios beta possuem 1ē, carga 1- e sem massa. Os raios gama são ondas eletromagnéticas e emitem calor continuamente, não possuem carga nem massa na sua emissão – (LNI)</i>	<i>As partículas alfa e beta fazem contato direto, diferente dos raios gamas que são apenas ondas, há também a diferença que a partícula alfa é menos penetrante que a beta que é menos penetrante que os raios gama – (GL13)</i>	

Fonte: O autor (2022)

Percebe-se que nas respostas consideradas satisfatórias, os estudantes detalharam as características das partículas alfa e beta e dos raios gama, discorrendo sobre aspectos como volume, carga, natureza (particulada ou ondas eletromagnéticas), interação com a matéria, poder de penetração e de ionização. A resposta do estudante *GB11* detalha estes aspectos.

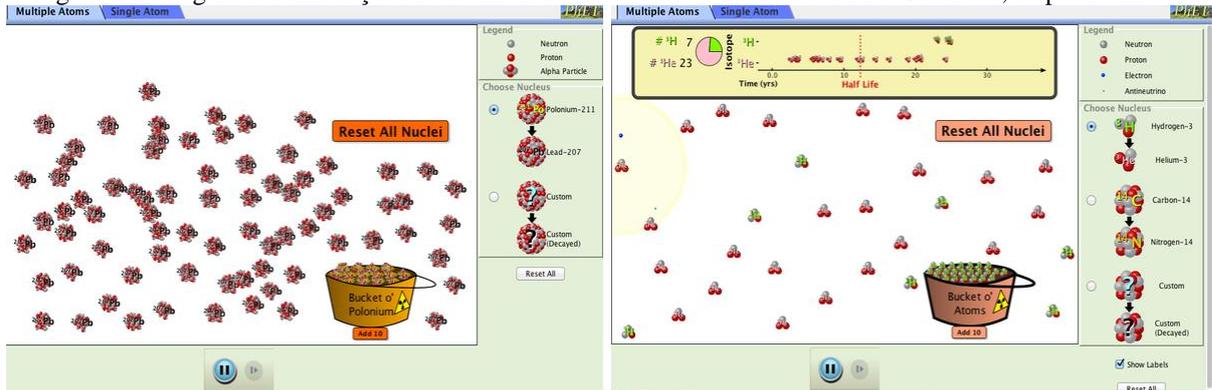
“A partícula alfa é a com núcleo mais pesado e é pouco penetrante, podendo ser parado até por uma folha de papel; a partícula beta tem massa muito pequena, um nêutron vira um próton e por ser menor consegue ser mais penetrante. Os raios betas não é uma partícula, não tem massa, é só uma energia liberada e sempre junto de alguma dessas

outras partículas, por ter uma energia muito grande consegue atravessar até aço” – (GB11)

O estudante *GB11* consegue diferenciar a natureza dessas radiações ao elencar o poder de penetração e sua relação com os volumes das partículas alfa e beta. Ademais, houve a diferenciação da radiação gama das demais, na medida que foi citado que os raios gama não são partículas. No tocante aos outros dois estudantes que responderam satisfatoriamente, percebe-se que esses seguiram uma linha de raciocínio semelhante ao exemplo de resposta acima, diferenciando-se apenas o estudante *LNI* que argumentou sua resposta descrevendo as cargas, ou seja, outro critério válido como destacado no padrão de resposta da questão.

Conclui-se disso que a exploração das simulações decaimento alfa e decaimento beta (figura 2) foi o principal contribuinte para essas respostas, tendo em vista que as simulações podem ter auxiliado os estudantes a visualizar mais facilmente as representações dinâmicas e assim interpretar o fenômeno mais detalhadamente, contribuindo para a compreensão do fenômeno em sua totalidade (CORREIA; SILVA; VASCONCELOS, 2019). Um exemplo disso é quando eles citam a decomposição de um nêutron em um próton, sendo que na exploração da simulação *PhET* decaimento beta esse fenômeno ficou em evidência na representação do núcleo durante o processo.

Figura 2 – Imagem das simulações Decaimento alfa e decaimento Beta do Phet Colorado, respectivamente.



Fonte: Site Phet Colorado. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/beta-decay Acesso 18 out. 2022.

Na análise das respostas consideradas moderadamente satisfatórias, pôde-se perceber que os estudantes não detalharam as respostas, ou seja, não apresentaram argumentos suficientes para justificar a diferença entre os três tipos de radiação da questão, como pode-se verificar no exemplo abaixo.

“Alfa e beta são de fato partículas emitidas. Raios gamas são ondas eletromagnéticas na frequência de raios gamas que de fato interagem ionizando os elétrons” – (NC12)

Ademais, em uma dessas respostas o estudante se referiu aos raios gama como “partículas gama” erroneamente, relacionando de forma equivocada com as características das radiações alfa e beta, o que leva a crer que diferentemente da abordagem sobre as partículas alfa e beta - que além dos modelos representacionais abordados nas mensagens educacionais multimídias da sequência didática, contou com a exploração de duas simulações específicas para cada fenômeno -, a ausência da exploração de uma simulação sobre os raios gama pode ter contribuído com essa resposta equivocada, tendo em vista que para ele pode não ter ficado claro que a radiação gama é uma onda eletromagnética.

Por fim, apenas um (1) estudante respondeu de maneira que sua resposta se incluísse na categoria insatisfatória, tendo em vista que sua resposta não trouxe características de nenhum dos três tipos de radiação, bem como apresentou-se totalmente confusa, de sorte que não fosse possível fazer nenhuma inferência acerca da concepção do estudante.

A quarta questão do teste de retenção, verificou se os estudantes compreenderam a forma como a radioatividade interage com a matéria, à proporção que perguntava sobre aspectos do poder de penetração das partículas alfa e beta. Nesse viés, convém destacar que dois (2) estudantes responderam de forma que suas respostas se incluíssem na categoria satisfatória ao descrever que a partícula beta era a mais penetrante pelo fato de apresentar menor volume, ou seja, os estudantes compreenderam que quanto menor a superfície de contato, menos a partícula irá colidir com outros átomos ionizando-os, menos energia será perdida, e conseqüentemente a partícula conseguirá penetrar uma distância maior. Ademais, cinco (5) respostas foram consideradas moderadamente satisfatórias, em razão de alguns desvios do padrão de resposta estabelecido, conforme identifica-se no quadro 12.

Quadro 12 – Respostas obtidas para a quarta pergunta do teste de retenção

QUESTÃO 4 - Considerando as características das partículas alfa e beta, qual possui maior poder de penetração? Por quê?		
Satisfatória	Moderadamente Satisfatória	Insatisfatória
<i>As partículas betas têm maior poder de penetração, pois são muito menores do que as alfa então vão colidir menos com outras partículas/átomos – (GB11)</i>	<i>beta, pois é uma partícula menor – (NC12)</i>	

<i>Beta. Levando em consideração o tamanho de cada partícula, como a partícula beta tem um menor tamanho, sendo constituída de um elétron livre, ela tem maior capacidade de penetração. – (YR14)</i>	<i>Beta. Porque na radiação beta, o átomo libera um elétron, e o elétron é muito mais leve em comparação a partícula alfa, por isso ele tem um maior poder de penetração – (MT7)</i>	
	<i>As partículas betas, porque conseguem passar por várias lâminas, são barradas com uma placa de madeira de 15 cm de espessura, já as alfas não passam nem de uma folha de papel – (LN1)</i>	
	<i>A partícula beta – (JY3)</i>	
	<i>as betas justamente por ter massa igual ao elétron ela é mais leve que a alfa e mais rápida também, assim sendo mais penetrante – (GL13)</i>	

Fonte: O autor (2022)

Mediante análise das respostas de *GB11* e *YR14*, os estudantes conseguiram selecionar algumas informações relevantes das mensagens educacionais multimídias presentes no tópico “radioatividade e interação com a matéria” abordado no segundo encontro da sequência didática, e como aponta Mayer (2001) posterior ao processo de seleção de imagens e palavras, ocorre a organização dessas informações em um modelo mental coerente, o que justifica as respostas satisfatórias dos estudantes. Além disso, o uso das simulações *PhET* alfa e beta permitiram aos estudantes observar as diferenças de volumes entre as representações das partículas alfa e beta, reforçando a tese de que houve a organização das informações na memória de trabalho.

Em relação às cinco (5) respostas consideradas moderadamente satisfatórias, essas foram selecionadas por dois motivos, sendo eles: respostas incompletas que só apontavam que a partícula beta era mais penetrante, sem justificar os motivos dessa afirmação; e respostas que apresentaram um equívoco conceitual na justificativa da resposta, tornando-a assim parcialmente equivocada.

Conforme a resposta do estudante *NC12*, não houve uma justificativa suficiente para explicar o poder de penetração da partícula beta. De maneira análoga, o estudante *MT7* buscou explicar, no entanto associou-o a leveza da partícula beta, ou seja, um argumento não válido,

tendo em vista que o maior poder de penetração tem relação com o volume e a menor superfície de contato, que faz com que colida e ionize menos átomos ao percorrer determinada área, perdendo assim menos energia e penetrando uma distância maior na matéria.

Dessa forma, pode-se concluir que esses estudantes não conseguiram compreender bem e organizar as informações relevantes destacadas na abordagem do tópico, mesmo com a exploração da simulação *PhET* que detalhou bem esse quesito a partir das representações dinâmicas. Além disso, pode ter havido uma confusão entre o volume e a massa das partículas beta, sendo que os estudantes podem ter associado que a leveza, e de fato a partícula beta é mais leve, seria equivalente ao volume por serem proporcionais nessa situação específica, e assim, suficiente para justificar o que se pede na questão.

Por fim, na análise da quinta e última questão do teste de retenção, na qual era necessário identificar qual a partícula que estava sendo emitida na representação fornecida na questão e apontar quais materiais ela conseguia atravessar, ou seja, uma questão semelhante a anterior no que diz respeito ao poder de penetração, no entanto com foco voltado para a identificação de um tipo de partícula a partir de um modelo representacional fornecido, pôde-se observar alguns aspectos relevantes. Na Questão 5: *Qual é o tipo de partícula emitida pelo átomo está representada no esquema, e quais materiais ela consegue passar? Justifique sua resposta.*, uma estudante apontou que se tratava de uma partícula beta (*Beta – (JY3)*), sendo essa a única resposta selecionada na categoria insatisfatória.

As demais respostas, foram classificadas como moderadamente satisfatória, visto que os estudantes identificaram que se tratava da representação de uma partícula alfa, conforme vê-se nas respostas a seguir:

“Essa é uma partícula alfa, pois tem no seu núcleo 2 prótons e massa 4, ela não vai conseguir passar por nenhum dos materiais” – (GB11)

Alfa e ela consegue passar através apenas da folha de papel. É uma alfa pois podemos notar o núcleo tendo 2 prótons e 2 nêutrons – (NC12)

“É a partícula do decaimento alfa, que é um átomo de Hélio com 2 prótons e 2 nêutrons, por ser um núcleo pesado ele já é parado por uma folha de papel” – (MT7)

“Essas são partículas alfa e não passam nem de uma folha de papel” – (LN1)

“É uma partícula alfa (pois tem 2 prótons e 2 nêutrons (núcleo atômico 2, n de massa 4), e a partícula é barrada na folha de papel pois como as partículas alfas são muito lentas elas têm baixa penetrabilidade” – (GL13)

“Partícula alfa, pois é constituída de dois prótons e dois neutros. Ela não consegue atravessar nenhum dos materiais, devido a seu tamanho, a folha de papel é capaz de detê-la” – (YR14).

As respostas apresentam-se incompletas, ou seja, não há uma justificativa descrevendo que o menor poder de penetração se dar pelo volume maior, a superfície de contato maior, a colisão com mais átomos, entre outros fatores característicos da partícula alfa. Infere-se dessas respostas obtidas que possivelmente alguns estudantes não prestaram atenção no enunciado, tendo em vista que na questão anterior do teste (4º) também era necessário descrever sobre a interação da radioatividade com a matéria, e mesmo assim houve algumas respostas satisfatórias como foi o caso dos estudantes *GB11* e *YR14*. Além disso, cumpre apontar que durante a exploração da simulação *PhET* decaimento alfa houve a alteração de variáveis no sistema com o intuito de permitir uma melhor compreensão consoante o trabalho de Moreno e Heidelmann (2017), assim como outras mensagens educacionais multimídias foram apresentadas em relação a esse tópico específico, reforçando que possivelmente ocorreu uma desatenção dos estudantes. Cabe destacar que as demais respostas da categoria moderadamente satisfatória seguiram o padrão verificado na 4º questão, em que os estudantes não demonstraram domínio acerca do processo de interação da radioatividade com a matéria por motivos já apontados.

Sendo assim, de forma ampla as respostas obtidas no teste de retenção atenderam às expectativas, pois já era esperado que nem todas questões fossem selecionadas como satisfatórias. Isso ocorre pelo fato do processo de ensino e aprendizagem ser uma construção contínua, sendo relativamente improvável em uma aula conseguir se desconstruir totalmente a concepção que os estudantes já tinham sobre o tema, para fazer com que todos eles organizassem novas informações em suas memórias de trabalho. Além disso, tendo em vista que o teste de retenção permite verificar o quanto o estudante recorda das informações abordadas (MAYER, 2001), tais como as informações presentes nas mensagens educacionais multimídias dos slides da aula e das simulações exploradas, e na sua análise foi perceptível que novas informações foram assimiladas pelos estudantes, infere-se disso que a metodologia utilizada foi eficaz e que se utilizada em um tempo maior pode trazer resultados ainda mais significativos.

5.3 TESTE DE TRANSFERÊNCIA

As respostas obtidas com a aplicação do teste de transferência (APÊNDICE D) permitiram verificar a compreensão dos estudantes acerca das informações abordadas durante toda a etapa de aplicação da sequência didática, incluindo a exploração das simulações, tendo em vista que consoante destaca Mayer (2001) o teste de transferência permite verificar o quanto os estudantes utilizam as informações apresentadas para resolver novos problemas. Nesse viés, convém destacar que, de modo geral, foram notados aspectos interessantes nas respostas dos estudantes, essencialmente em relação ao processo de integração, visto que pôde-se observar uma relação das informações da sequência didática com conhecimentos pré-existentes por parte dos estudantes

Iniciando a análise pelas respostas obtidas na primeira questão do teste, a qual indagava sobre o transporte de alimentos irradiados e as atitudes de funcionários de uma empresa, observou-se que todos os estudantes apontaram que a atitude dos responsáveis pela empresa foi equivocada, embora nem todos tenham conseguido justificar com argumentos válidos as suas afirmações. Logo, algumas respostas fossem consideradas moderadamente satisfatórias por apresentarem-se incompletas ou confusas em parte. Pode-se verificar as respostas obtidas e suas categorias no quadro 13 abaixo.

Quadro 13 – Respostas obtidas para a primeira pergunta do teste de transferência

QUESTÃO 1 - (ENEM MEC/2012 - Adaptada) A falta de conhecimento sobre material radioativo e quais os efeitos, consequências e usos da irradiação pode gerar medo na população, e esta pode vir a tomar decisões equivocadas. Considerando, a afirmação simulada: “Uma empresa de logística e transporte negou-se a entregar um carregamento de salgadinhos e outros produtos alimentícios por esses apresentarem no rótulo a informação de que foram tratados por um processo de irradiação”, você considera que a atitude dos responsáveis pela empresa foi correta ou equivocada? Justifique com suas palavras.		
Satisfatória	Moderadamente satisfatória	Insatisfatória
<i>Equivocada, pois como vimos em aula esses produtos não têm contato com a fonte da radiação então não se contaminam, apenas os raios gamas e as partículas atingem o alimento. A irradiação na verdade é benéfica nesse caso – (GB11)</i>	<i>Equivocada pois o fato deles serem tratados por processo de irradiação não significa que é algo maléfico, pois isso vai fazer com que o alimento dure mais tempo – (LY2)</i>	

<p><i>Equívocada. Porque o tratamento de irradiação serve para esterilizar e aumentar o tempo de conserva do alimento, eles não entram em contato com a radiação diretamente por isso não apresenta resíduos, portanto não emitem radiação e não apresentam riscos – (MT7)</i></p>	<p><i>Foi equívocada pois creio que eles pensaram que o fato dos alimentos serem tratados com irradiação faria mal a saúde dos seus funcionários – (RY15)</i></p>	
<p><i>Equívocada, porque o processo de irradiação é bom para os alimentos, matas as possíveis bactérias que possam existir entre outros benefícios, e o importante é que não deixa resíduos de radiação nos alimentos – (LNI)</i></p>	<p><i>Equívocada, pois não entenderam como funcionou o procedimento pelo qual passou o salgadinho em questão para entender que este procedimento não apresenta riscos aos consumidores, transportador e etc – (JV16)</i></p>	
	<p><i>Equívocada, na minha concepção se pode ser comercializado então é de certa forma seguro, e também sei que dependendo da quantidade de irradiação o produto ainda é seguro e essa irradiação é utilizada apenas de forma benéfica para o produto – (GL13)</i></p>	

Fonte: O autor (2022)

Percebe-se que três (3) respostas foram consideradas satisfatórias tendo em vista que justificaram que a atitude da empresa foi equívocada, na medida que justificavam essa afirmação apontando que o alimento não se contaminava por não ter contato direto com a fonte radioativa, além de descrever alguns dos benefícios obtidos com o processo. Abaixo pode-se observar estes aspectos descritos na transcrita.

“Equívocada, pois como vimos em aula esses produtos não têm contato com a fonte da radiação então não se contaminam, apenas os raios

gamas e as partículas atingem o alimento. A irradiação na verdade é benéfica nesse caso” – (GB11)

Infere-se disso que os estudantes conseguiram compreender as informações verbais e pictóricas, em relação ao assunto da questão, presentes nas etapas da sequência didática, organizando-as em sua memória de trabalho e posteriormente integrando-as com os conhecimentos pré-existentes presentes na memória de longo prazo. Essa inferência tem como embasamento os processos em que os estudantes se submetem frente a uma mensagem educacional multimídia, os quais são descritos na teoria cognitiva da aprendizagem multimídia, o que pode ter levado os estudantes a construir um modelo mental coerente para responder o problema indagado na questão (MAYER, 2001). Ademais, como o teste de transferência permite verificar a como os estudantes usam as informações para responder novos problemas, como as questões do teste, foi possível tecer relações com a 5ª questão do questionário de conhecimentos prévios do primeiro encontro, para se ter uma noção de como a integração ocorre. O quadro 14 abaixo traz um exemplo dessa relação.

Quadro 14 – Comparação entre as respostas do estudante MT7 para perguntas semelhantes do questionário de conhecimentos prévios e do teste de transferência

Questionário de conhecimentos prévios	Teste de transferência
<p>QUESTÃO 5 - Analisando o rótulo de alimento a seguir (imagem fornecida no teste), o consumo deste produto alimentício traria algum mal ao consumidor, mediante a informação de que ele contém ingredientes que passaram pelo processo de ‘irradiação’?</p>	<p>QUESTÃO 1 - (ENEM MEC/2012 - Adaptada) A falta de conhecimento sobre material radioativo e quais os efeitos, consequências e usos da irradiação pode gerar medo na população, e esta pode vir a tomar decisões equivocadas. Considerando, a afirmação simulada: “<i>Uma empresa de logística e transporte negou-se a entregar um carregamento de salgadinhos e outros produtos alimentícios por esses apresentarem no rótulo a informação de que foram tratados por um processo de irradiação</i>”, você considera que a atitude dos responsáveis pela empresa foi correta ou equivocada? Justifique com suas palavras.</p>
<p><i>Não, pois acredito que a radiação é não ionizante e não é perigosa para nós – (MT7)</i></p>	<p><i>Equivocada. Porque o tratamento de irradiação serve para esterilizar e aumentar o tempo de conserva do alimento, eles não entram em contato com a radiação diretamente por isso não apresenta resíduos, portanto não emitem radiação e não apresentam riscos – (MT7)</i></p>

Fonte: O autor (2022)

Nota-se que o estudante supracitado manteve seu ponto de vista sobre a irradiação de alimentos não fazer mal ao consumo, embora seu conhecimento sobre o tema tenha deixado de ser uma mera suposição e passado a ser uma afirmação convicta, com argumentos válidos e aceitos cientificamente.

No tocante às respostas consideradas moderadamente satisfatórias, notou-se que apesar dos estudantes terem citado que a atitude era equivocada, esses não justificaram suas afirmações a partir de argumentos válidos, como pode-se verificar nas respostas transcritas abaixo.

“Equivocada pois o fato deles serem tratados por processo de irradiação não significa que é algo maléfico, pois isso vai fazer com que o alimento dure mais tempo” – (LY2)

“Equivocada, na minha concepção se pode ser comercializado então é de certa forma seguro, e também sei que dependendo da quantidade de irradiação o produto ainda é seguro e essa irradiação é utilizada apenas de forma benéfica para o produto” – (GL13)

Sendo assim, nota-se que não houve um aprofundamento no porquê de a irradiação ser segura para quem consome, podendo-se inferir que o processo de integração não ocorreu de forma efetiva nesses estudantes, tendo em vista que aspectos apresentados nas mensagens educacionais multimídias, não foram identificados nos registros dos alunos.

Em relação à análise das respostas obtidas na segunda questão, a qual traz uma abordagem acerca do acidente de Goiânia, todos os estudantes identificaram que a representação fornecida na questão se tratava de uma partícula beta, embora nem todos tenham respondido de forma satisfatória. Complementando a análise, percebeu-se também alguns equívocos no que diz respeito à identificação da representação da partícula beta. Infere-se disso que a exploração da simulação sobre esse decaimento possibilitou a organização de informações pictóricas na memória de trabalho dos estudantes, e que os permitiram identificar corretamente a representação. No quadro 15 abaixo estão destacadas as respostas dos estudantes, selecionadas em suas respectivas categorias.

Quadro 15 – Respostas obtidas para a segunda pergunta do teste de transferência

QUESTÃO 2 - Em 2023, serão completados 35 anos do acidente com o Césio – 137, em Goiás, Brasil.		
O manuseio inadequado de um aparelho de radioterapia por catadores de lixo metálico, demonstrou a falta de conhecimento sobre materiais radioativos e os riscos a sua exposição à radiação. Esse manuseio expôs o sal contendo Césio-137 ao ambiente contaminando assim parte da população que moravam no entorno do ferro velho que armazenou o material radioativo, no município de Goiânia-GO. Considerando a representação do decaimento radioativo do Césio-137 abaixo (disponibilizada no teste), qual o tipo de emissão nuclear que ocorre no átomo de Césio-137? E, em sua opinião, por que é utilizado o Chumbo nos aparelhos de Radioterapia?		
Satisfatória	Moderadamente satisfatória	Insatisfatória

<p><i>Acredito que o tipo de emissão nuclear seja a beta, E o chumbo é usado justamente por seus átomos serem grandes e pesados dificultando a passagem de partículas de átomos que emitem radiação – (RY15)</i></p>	<p><i>O Césio-137 emite partículas beta, porque 1 elétron está saindo do átomo. O chumbo é usado porque nem as partículas radioativas nem os raios gamas conseguem penetrar e ultrapassar o material, tornando o método mais seguro já que a radiação só vai afetar a área necessária – (GB11)</i></p>	<p><i>Fissão nuclear, da partícula beta. O chumbo é utilizado como proteção para que a radiação da máquina não se espalhe – (LY2)</i></p>
<p><i>Emissão beta, e o chumbo é utilizado pois como ele é um metal muito pesado fica difícil para as partículas beta penetrarem ele – (GL13)</i></p>	<p><i>Ocorreu a transformação de um nêutron em um próton e a liberação de um elétron, por isso conserva-se a massa, mas o número atômico se altera. O chumbo é um metal que tem o poder de barrar a radiação por ser um elemento estável, é muito escolhido por ser mais barato financeiramente e alguns átomos tem o seu caminho de decaimento chegando no fim ao chumbo, como o U-238 – (MT1)</i></p>	
	<p><i>A emissão é de raios beta. É importante o chumbo nesses aparelhos porque as partículas beta não conseguem penetrar o Pb e passar por eles – (LN1)</i></p>	
	<p><i>Pois o chumbo protege que essa radiação se propague, já que a radiação, nesse caso a beta, não consegue ultrapassar esse metal. É exatamente por isso que os afetados por essa radiação foram</i></p>	

	<i>enterrados em caixão de Chumbo – (JV16)</i>	
--	--	--

Fonte: O autor (2022)

As duas respostas consideradas satisfatórias descreviam que se tratava de uma partícula beta, bem como apontavam os motivos do Chumbo ser utilizado como uma espécie de “barreira” ao destacar a densidade do seu núcleo. As respostas dos estudantes transcritas abaixo evidenciam esses aspectos mencionados.

“Emissão beta, e o chumbo é utilizado pois como ele é um metal muito pesado fica difícil para as partículas beta penetrarem ele” – (GL13)

“Acredito que o tipo de emissão nuclear seja a beta, E o chumbo é usado justamente por seus átomos serem grandes e pesados dificultando a passagem de partículas de átomos que emitem radiação” – (RY15)

Nessa perspectiva, conclui-se que os estudantes conseguiram utilizar as informações das mensagens educacionais multimídias presentes em um dos tópicos do segundo encontro, no qual houve uma discussão acerca do motivo que fazia o Chumbo funcionar como uma espécie de barreira, para responder à questão. Novamente, percebe-se que há o processo de integração, pois são utilizadas, por parte, informações que foram abordadas em momentos anteriores à aplicação do teste de transferência, permitindo assim verificar o quanto os estudantes compreenderam das informações abordadas na sequência didática. Com base nisso, presume-se que a utilização da teoria cognitiva da aprendizagem multimídia como base para estruturação da sequência didática mostrou-se eficiente, pois a utilização de imagens e palavras se deu de forma estratégica ao considerar o pressuposto do canal duplo, e como aponta Mayer (2001) é característica da TCAM promover um aprendizado mais eficiente por considerar aspectos da ciência cognitiva.

Em relação às respostas consideradas moderadamente satisfatórias, os quatro (4) estudantes, como já destacado, identificaram que se tratava de uma partícula beta, no entanto, não justificaram com argumentos válidos o motivo do Chumbo nos aparelhos de radioterapia, afirmando apenas de forma genérica que bloqueava a radiação, ou seja, as respostas apresentam-se incompletas, conforme pode-se perceber nas transcrições abaixo.

“A emissão é de raios beta. É importante o chumbo nesses aparelhos porque as partículas betas não conseguem penetrar o Pb e passar por eles” – (LNI)

“O Césio-137 emite partículas beta, porque 1 elétron está saindo do átomo. O chumbo é usado porque nem as partículas radioativas nem os raios gama conseguem penetrar e ultrapassar o material, tornando o método mais seguro já que a radiação só vai afetar a área necessária” – (GB11)

Percebe-se que apesar de serem respostas corretas e interessantes, o motivo do Chumbo bloquear a passagem de partículas alfa e beta e de raios gama não é apontado. Infere-se disso que o fato de não ter havido uma representação pictórica desse processo, tendo em vista que apenas foi feita uma discussão com informações verbais, pode ter feito com que os estudantes não o tenham compreendido em sua totalidade. Além disso, outra justificativa que pode ser apontada para essas respostas obtidas é que os estudantes não entenderam que seria necessário detalhar cientificamente o porquê de o chumbo funcionar como uma espécie de barreira.

Na categoria insatisfatória, um estudante compreendeu que se tratava de uma partícula beta e que o Chumbo bloqueia a radiação, entretanto acabou associando de maneira equivocada o decaimento beta ao processo de fissão nuclear, como pode-se perceber na resposta destacada abaixo.

“Fissão nuclear, da partícula beta. O chumbo é utilizado como proteção para que a radiação da máquina não se espalhe – (LY2)”

Dessa forma, conclui-se que o estudante supracitado tenha feito uma integração entre as informações apresentadas na sequência didática sobre decaimento beta e que estavam presentes em sua memória de trabalho, com informações referentes ao processo de fissão nuclear que possivelmente estavam presentes em sua memória de longo prazo, considerando o processo da integração destacado por Mayer (2001), havendo assim uma pequena confusão entre os fenômenos, que tornou a resposta equivocada.

Dando continuidade à análise do teste, as respostas obtidas para a 3ª questão permitiram verificar a compreensão dos estudantes acerca do decaimento sofrido pelo isótopo Carbono-14. Nesse sentido, alguns estudantes descreveram que o Carbono-14 sofria decaimento beta e que o mesmo não ocorria com o Carbono-12 devido à sua estabilidade, e com isso suas respostas foram consideradas satisfatórias. As demais respostas estão disponíveis no quadro 16.

Quadro 16 – Respostas obtidas para a terceira pergunta do teste de transferência

QUESTÃO 3 - (ENEM-2016 - Adaptada) Pesquisadores recuperaram DNA de ossos de mamute (*Mammuthus primigenius*) encontrados na Sibéria, que tiveram sua idade de cerca de 28 mil anos confirmada pela técnica do carbono-14. Sabendo que ao sofrer decaimento o Carbono-14 se transmuta em Nitrogênio-14, que tipo de emissão nuclear é emitida neste fenômeno? O mesmo poderia acontecer com o Carbono-12?

Satisfatória	Moderadamente satisfatória	Insatisfatória
<i>Como a massa se manteve a mesma no decaimento, significa que houve uma emissão de partículas beta. Não acontece o mesmo com o C-12 porque não é um átomo radioativo, seu núcleo é estável – (GB11)</i>	<i>Ocorre a conversão de um nêutron em um próton e liberação de um elétron, é uma característica do decaimento beta. Não, não poderia acontecer – (MT7)</i>	<i>O tipo de emissão nuclear emitida pelo carbono-14 seja a ômega, já quanto ao carbono-12 isso não acontece pois ele é estável – (RY15)</i>
<i>emissão nuclear beta, não porque o átomo de carbono 12 é um dos isótopos estáveis, e a emissão beta é emitida de núcleos instáveis – (GL13)</i>	<i>partícula beta – (LY2)</i>	<i>Emissão nesse fenômeno são dos raios beta, porque o número de prótons não muda. O C-12 não se transmuta formando outro elemento, mas ele surge da transmutação do C-14 – (LN1)</i>

Fonte: O autor (2022)

Percebe-se que duas respostas foram consideradas satisfatórias, visto que nelas os estudantes identificaram que se tratava de um decaimento beta e justificaram o porquê do carbono-12 não sofrer processo semelhante, conforme já mencionado anteriormente. Estes aspectos descritos podem ser observados na transcrição abaixo.

“Como a massa se manteve a mesma no decaimento, significa que houve uma emissão de partículas beta. Não acontece o mesmo com o C-12 porque não é um átomo radioativo, seu núcleo é estável” – (GB11)

Infere-se assim que a exploração da simulação *PhET* decaimento beta permitiu aos estudantes assimilarem informações para resolver o problema do enunciado, tendo em vista que uma das representações presentes nessa simulação era justamente o isótopo do Carbono-14, em que era possível verificar a representação pictórica e dinâmica desse isótopo sofrendo o decaimento beta e tendo seu núcleo se transmutando para o Nitrogênio-14, ou seja, uma característica dos softwares de simulações com o intuito de melhorar a compreensão do modo submicroscópico do fenômeno em estudo através da visualização de modelos representacionais (MACHADO, 2016). Além disso, no tópico da sequência didática que tratava sobre o processo de datação por Carbono-14, foram apresentadas mensagens educacionais multimídias sobre as

características desse isótopo e seu uso na datação, o que levar a crer que os estudantes compreenderam sua diferença para o Carbono-12 ao mencionar a estabilidade deste.

No que concerne às respostas moderadamente satisfatórias, houve dois (2) estudantes que responderam de forma incompleta, citando apenas que se tratava de um decaimento beta sofrido pelo Carbono-14, sem mencionar o porquê do carbono-12 também não sofrer decaimento e no caso do estudante *LY2* nem sequer citar se o Carbono-12 poderia decair ou não, conforme pode-se verificar no quadro 16 acima.

Por fim, outros dois (2) estudantes deram respostas equivocadas conceitualmente, uma vez que um deles citou que ocorria a emissão de uma partícula ômega e outro afirmou que o Carbono-14 se transmuta em Carbono-12 equivocadamente, além de se referir às partículas beta como sendo “raios”, conforme pode-se observar abaixo.

“O tipo de emissão nuclear emitida pelo carbono-14 seja a ômega, já quanto ao carbono-12 isso não acontece pois ele é estável” – (RY15)

“Emissão nesse fenômeno são dos raios beta, porque o número de prótons não muda. O C-12 não se transmuta formando outro elemento, mas ele surge da transmutação do C-14” – (LNI)

Dessa forma, verifica-se que esses são casos em que os estudantes não conseguiram organizar um modelo coerente em suas memórias de trabalho a partir das informações apresentadas na sequência didática, visto que mencionam conceitos equivocados. Sendo assim, levando em consideração que o teste de transferência permite verificar a compreensão dos estudantes à proporção que eles resolvem um novo problema, e essa compreensão segundo o teste não foi satisfatória, infere-se disso que esse é mais um dos casos em que se percebe desvios em virtude de possíveis fatores como limite de tempo de aplicação, tempos distintos de aprendizagem, entre outros já destacados em momentos anteriores desta pesquisa. Além disso, é preciso considerar o pressuposto do processamento ativo da TCAM, que de acordo com Mayer (2001) o estudante precisa selecionar as informações presentes na mensagem educacional multimídia de forma intencional e não arbitrária, logo esses desvios observados podem ter sido motivados pela não participação ativa do estudante frente a seleção de informações relevantes.

Em relação a análise da quarta resposta (quadro 17), a maioria dos estudantes tiveram suas respostas consideradas insatisfatórias, diferentemente do que se pôde observar nas questões anteriores do teste, as quais geralmente tinham um volume maior de respostas consideradas moderadamente satisfatórias.

Quadro 17 – Respostas obtidas para a quarta pergunta do teste de transferência

QUESTÃO 4 - (ENEM-2017 - Adaptada) O avanço científico e tecnológico da física nuclear permitiu conhecer, com maiores detalhes, o decaimento radioativo dos núcleos atômicos instáveis, desenvolvendo-se algumas aplicações para a radiação de grande penetração no corpo humano, utilizada na medicina, como por exemplo, no tratamento do câncer. Tendo a informação de que a radiação de grande penetração mencionada no texto possui a capacidade de penetrar uma placa densa de aço, e pode ser contida por uma placa de Chumbo, a que tipo de radiação você acha que o texto se refere? Explique com suas palavras.		
Satisfatória	Moderadamente satisfatória	Insatisfatória
<i>A radiação gama, porque dentre as 3 radiações é a com maior poder de penetração, até porque é uma energia – (GB11)</i>	<i>Radiação gama, pois ela é mais penetrante que as demais, então consegue penetrar o aço, mas é detida pelo chumbo – (LY2)</i>	<i>Radiação Beta. Porque a radiação alfa não consegue penetrar nem uma folha de papel, já os raios gama conseguem atravessar o chumbo, sobrando assim a radiação beta, e geralmente é utilizado o Cesio-137 que apresenta esse tipo de decaimento – (MT7)</i>
<i>radiação gama, justamente por ela ser uma onda de comprimento muito pequeno e ser a mais penetrante de todas – (GL13)</i>		<i>Se refere a radiação usada para matar células cancerígenas onde o fogo principal é justamente eliminar essas células, porém só pode ser feita antes do câncer se espalhar para evitar que acerte órgãos – (RY15)</i>
		<i>Radiação beta, são utilizados na medicina devido a sua baixa energia emitida– (LN1)</i>
		<i>Radiação beta, assim como foi dito na questão acima – (JV16)</i>

Fonte: O autor (2022)

Dessa forma, convém iniciar as análises pelas respostas insatisfatórias, tendo em vista a maior quantidade de respostas. Nesse viés, percebe-se que quatro (4) estudantes apontaram que a partícula cujas características foram descritas no enunciado da questão tratava-se de uma partícula beta, o que tornou a resposta errada, tendo em vista que a questão apresentava características dos raios gama. Na resposta transcrita abaixo, pode-se observar esses aspectos mencionados.

“Radiação beta, são utilizados na medicina devido a sua baixa energia emitida” – (LN1)

Infere-se disso que se teve uma falta de atenção na interpretação das características evidenciadas no enunciado, pois foi possível verificar uma incoerência entre dois (2) dos estudantes. Além disso, consoante já mencionado anteriormente, pode-se associar que a ausência da exploração de uma simulação sobre os raios gama pode ter potencializado as respostas equivocadas, pois a simulação permite justamente melhorar a interpretação dos modelos representacionais (ARAÚJO; NETO; OLIVEIRA, 2021). Destacando a incoerência observada, essa diz respeito ao fato de que nas respostas da 3ª questão do teste de retenção, que ocorreu no segundo encontro, os mesmos estudantes demonstraram compreender satisfatoriamente as características dos raios gama, diferentemente do que se observou nas respostas do teste de transferência, conforme nota-se a comparação no quadro 18 abaixo.

Quadro 18 – Comparação entre respostas do teste de retenção com o teste de transferência

3º questão do teste de retenção	4º questão do teste de transferência
<p><i>Partícula alfa libera um átomo de Hélio com 2 prótons e 2 nêutrons, tem o maior poder de ionização, porém tem o menor poder de penetração. Partícula Beta libera um elétron, é quando um nêutron é convertido em um próton e libera um elétron, tem um poder de penetração maior de que a partícula alfa só que apresenta um grau de ionização maior. Raios gama são ondas eletromagnéticas que são liberadas junto da radiação alfa e beta que apresenta o maior nível de penetração, mas tem o menor grau de ionização, sua ionização também é chamada de ionização indireta – (MT7)</i></p>	<p><i>Radiação Beta. Porque a radiação alfa não consegue penetrar nem uma folha de papel, já os raios gama conseguem atravessar o chumbo, sobrando assim a radiação beta, e geralmente é utilizado o Cesio-137 que apresenta esse tipo de decaimento – (MT7)</i></p>

<p><i>Os raios alfas possuem dois prótons e dois nêutrons, de carga positiva 2+ e com massa 4. Os raios betas possuem 1ē, carga 1- e sem massa. Os raios gama são ondas eletromagnéticas e emitem calor continuamente, não possuem carga nem massa na sua emissão – (LNI)</i></p>	<p><i>Radiação beta, são utilizados na medicina devido a sua baixa energia emitida– (LNI)</i></p>
---	---

Fonte: O autor (2022)

Prosseguindo com a análise, houve duas respostas consideradas satisfatórias, e nelas os estudantes apontaram que se tratava dos raios gama, além de justificarem sua alta penetrabilidade à proporção que citaram sua natureza eletromagnética, característica dos raios gama. Sendo assim, infere-se que esses estudantes conseguiram interpretar o que se pedia no enunciado da questão, na medida que organizam informações que foram abordadas no segundo encontro da sequência didática, tendo em vista as mensagens educacionais multimídias que destacavam as características das partículas beta e alfa e dos raios gama, e que foram estruturadas considerando o pressuposto do canal duplo destacado por Mayer (2001) fazendo assim com que possivelmente durante o processo de integração das informações na memória de trabalho fosse criado um modelo coerente o suficiente para responder a pergunta do teste de transferência.

Em relação a única resposta considerada moderadamente satisfatória, o estudante apontou corretamente que tratava dos raios gama, entretanto não justificou o porquê desse tipo de radiação ser tão penetrante, tornando assim a resposta incompleta, conforme nota-se na transcrição abaixo.

“Radiação gama, pois ela é mais penetrante que as demais, então consegue penetrar o aço, mas é detida pelo chumbo” – (LY2)

Por fim, em relação a análise da quinta e última questão do teste de transferência, houve três (3) respostas consideradas satisfatórias, pois foram objetivas e descreviam que o Iodo funciona como uma espécie de proteção para minimizar os riscos de contaminação com o isótopo radioativo Iodo-131, além de mencionar a relação entre o Iodo e a glândula tireoide. Ademais, as três (3) respostas moderadamente satisfatórias apresentaram-se incompletas ou parcialmente equivocadas, assim como a única resposta considerada insatisfatória não descreveu nem a relação do Iodo com a glândula tireoide nem sua função de forma correta.

Quadro 19 – Respostas obtidas para a quinta pergunta do teste de transferência

QUESTÃO 5 - (UEM-PR - Adaptada) No período do acidente em Chernobyl houve um aumento no consumo de pílulas de Iodo, as quais foram distribuídas para a população exposta a radiação. Explique com suas palavras, quais as justificativas químicas e biológicas para que ocorra esta ação de distribuição.		
Satisfatória	Moderadamente satisfatória	Insatisfatória
<i>Porque o iodo é necessário no nosso corpo para a tireoide, foi mandado consumir para preencher a nossa tireoide de iodo não radioativo, pois alguns isótopos de iodo são radioativos e se fossem absorvidos, as pessoas iriam emitir radiação e poderia ser fatal -(MT7)</i>	<i>A gente precisa constantemente de iodo, só que o nosso corpo pode absorver "qualquer" iodo que estiver disponível. Então as pessoas consumiam o iodo pra que não acabassem absorvendo o iodo radioativo e se contaminassem-(GB11)</i>	<i>O uso do iodo vai reduzir os problemas causados pelas pessoas que foram expostas a radiação – (LY2)</i>
<i>O I-127 é responsável pela produção de hormônios na tireoide, e quando o U-238 se quebra e emite radiação, gera o I-131, que é altamente radioativo e aceito normalmente pela tireoide, então se consumir muito I-127 quando o I-131 da radiação vier, ele não vai ser aceito – (LN1)</i>	<i>Foi distribuído as pílulas de iodo pois o iodo estável é consumido pela glândula da tireoide evitando assim que a mesma absorver a radiação que está sendo emitida naquele local – (RY15)</i>	
<i>A ingestão de Iodo se dava como maneira protetiva, para que ela não atingisse a tireoide fazendo com que o Iodo presente nas pílulas "ocupasse" o lugar de Iodo contaminado que poderia acabar indo parar na tiroide – (JV16)</i>	<i>quando acontece um acidente nuclear o iodo radioativo é liberado, e nisso o nosso corpo absorve-lo que pode causar câncer, as pílulas de iodo servem para saturar nosso corpo de iodo impedindo que o iodo radioativo seja absorvido – (GL13)</i>	

Fonte: O autor (2022)

Nas respostas consideradas satisfatórias os estudantes apresentaram argumentos convincentes e válidos para explicar a distribuição das pílulas de Iodo no período do acidente de Chernobyl. No quadro 20, identifica-se a ocorrência da desconstrução de uma concepção prévia equivocada, conforme a comparação entre as respostas do estudante *MT7* para a 4ª questão do questionário de conhecimentos prévios e a 5ª do teste de transferência.

Quadro 20 – Comparação entre as respostas do estudante *MT7*

Resposta para a 4ª pergunta do questionário de conhecimentos prévios	Resposta para a 5ª pergunta do teste de transferência
<i>Porque o Iodo é um elemento mais leve que consegue barrar a radiação – (MT7)</i>	<i>Porque o iodo é necessário no nosso corpo para a tireoide, foi mandado consumir para preencher a nossa tireoide de iodo não radioativo, pois alguns isótopos de iodo são radioativos e se fossem absorvidos, as pessoas iriam emitir radiação e poderia ser fatal -(MT7)</i>

Fonte: O autor (2022)

Conclui-se que nessa situação o processo de organização das informações na memória de trabalho e a posterior integração, quinto e último processo cognitivo que o estudante se submete frente a uma mensagem educacional multimídia (MAYER, 2001), ocorreu de forma efetiva, pois é possível verificar que a resposta do estudante contém elementos que foram abordados nas mensagens educacionais multimídias da sequência didática, e com isso, ao fazer a integração dessas novas informações com o conhecimento presente na memória de longo prazo, o estudante pôde desconstruir uma concepção equivocada, ressignificando o seu conhecimento acerca do tema, e assim conseguindo resolver a questão do teste de forma satisfatória.

No tocante às respostas moderadamente satisfatórias, pode-se perceber que todos os estudantes compreenderam que o Iodo funciona como uma medida protetiva, no sentido mais de prevenção, o que de fato é um argumento válido, no entanto dois deles (*GB11 e GL13*) não associaram o uso do Iodo diretamente à tireoide, mas sim ao corpo em geral, tornando suas respostas parcialmente equivocadas e o estudante *RY15* não destacou que a proteção se dava especificamente contra o isótopo radioativo do Iodo, ou seja, o Iodo-131, conforme pode-se observar no quadro 19.

Inferiu-se disso que esses estudantes não conseguiram organizar as informações de forma totalmente efetiva, fazendo com que a integração das informações não fosse suficiente para resolver a questão. Isso pode ser justificado por aspectos já detalhados ao longo da pesquisa,

considerando as individualidades de cada estudante. Além disso, cabe ressaltar que a TCAM tem como base também o pressuposto da capacidade limitada, na qual há uma quantidade limitada de informações que podem ser compreendidas (MAYER, 2001), logo, isso deve ser levado em consideração para justificar esses desvios observados, visto que as respostas apresentaram uma quantidade limitada/insuficiente de informações para que fossem consideradas satisfatórias.

Sendo assim, é perceptível que o teste de transferência permite verificar a compreensão dos estudantes sobre a temática em geral, no caso radioatividade, na medida em que utilizaram as diversas informações presentes nas mensagens educacionais multimídias, seja nos slides das aulas, seja na exploração das simulações, para resolver os novos problemas que foram elaborados no teste. De maneira simples, de acordo com Mayer (2001) é no teste de transferência que se observa se os estudantes compreenderam o que lhes foi apresentado, e de fato, verificou-se isso na análise do presente teste.

6 CONCLUSÃO

Conforme análise dos resultados obtidos no questionário de conhecimentos prévios e nos testes de retenção e transferência sobre a temática de radioatividade, conclui-se que a elaboração de sequência didática baseada na Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia, utilizando softwares de simulação apresenta um potencial relevante no tocante à interpretação de fenômenos químicos em sua totalidade.

Nessa perspectiva a presente pesquisa permitiu verificar se os estudantes conseguiram assimilar informações de um encontro específico, como foi o caso da aplicação do teste de retenção para verificar se os estudantes compreenderam o que foi abordado na segunda aula, assim como permitiu observar, com o auxílio do teste de transferência, o quanto os estudantes assimilaram das informações gerais da abordagem, ou seja, dos três encontros, na medida que respondiam os problemas contextualizados disponibilizados no teste de transferência.

Além disso, durante a análise do teste de transferência, pôde-se verificar indícios do processo denominado integração, que é um dos cinco processos cognitivos descritos por Mayer (2001), tendo em vista que foi possível tecer relações com respostas do questionário de conhecimentos prévios, e assim observar uma possível integração entre as informações verbais e pictóricas presentes na memória de trabalho dos estudantes, com informações da memória de longo prazo, ou seja, muitas das respostas denotadas no senso comum.

Desta forma, verifica-se que os resultados atenderam aos objetivos propostos na pesquisa, visto que: o questionário de conhecimentos acerca do tema radioatividade atendeu ao primeiro objetivo específico, que consistia em compreender a concepção que os estudantes tinham sobre a radioatividade; o teste de retenção atendeu ao segundo objetivo específico, que consistia em investigar as potencialidades das simulações para compreensão do modo submicroscópico; e o teste de transferência atendeu ao terceiro objetivo específico, que consistia em verificar como as mensagens educacionais multimídias presentes ao longo da sequência didática contribuem para a compreensão do fenômeno radioatividade.

Ademais, cabe ressaltar que apesar de haver muitas respostas insatisfatórias e moderadamente satisfatórias, ainda foi possível observar aspectos relevantes que reforçam que a estratégia utilizada na pesquisa é potencialmente eficaz. Infere-se disso que uma utilização mais ampla, a longo prazo, de forma cumulativa, e tomando como respaldo pesquisas anteriores sobre estratégia didática com uso de simulação, pode proporcionar resultados ainda mais detalhados e efetivos, pois situações como tempos diferentes de aprendizagem dos estudantes poderiam ser superadas com uma aplicação mais extensa.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Francisco Oliveira; NETO, Jonas Guimarães Paulo; OLIVEIRA, Francisco Leandro Rodrigues de. Uso do software de simulação PhET como recurso metodológico no ensino de óptica. **Revista Docentes**, Fortaleza, v. 6, n. 14, p. 52-66, 2021.
- ATKINS, Peter; JONES, Loretta. **Princípios de Química**. 5ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- BARDIN, Lawrence. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.
- BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular - 3ª versão. Ensino Médio. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/historico/BNCC_EnsinoMedio_embaixa_site_110518.pdf Acesso em: 03 nov. 2022.
- CARLOMAGNO, Márcio C.; ROCHA, Leonardo Caetano da. Como criar e classificar categorias para fazer análise de conteúdo: uma questão metodológica. **Revista Eletrônica de Ciência Política**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 173-188, 2016.
- CORREIA, Karla Kilma; SILVA, Renan Amorin da; VASCONCELOS, Flávia Cristina Gomes Catunda de. O uso de TICs com auxílio da Experimentação frente às Representações Mentais. *In: Actas V Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación*, 5., 2019, La Plata. **Actas** [...]. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2019.
- COUTO, Renata Ribeiro; SANTIAGO, Arnaldo José. Radioatividade e irradiação de alimentos. **RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 12, n. 2, p. 193-215, 2010.
- EICHLER, Marcelo Leandro.; CALVETE, Marcos Henrique Hahn; SALGADO, Tânia Denise Miskinis. **Módulos para o Ensino de Radioatividade**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.
- FIORI, Raquel; GOI, Mara Elisângela Jappe. O Ensino de Química na plataforma digital em tempos de Coronavírus. **Revista Thema**, Pelotas, v. 18, p. 218-242, 2020.
- FRANCO, Maria Laura Puglisi Barbosa. **Análise de conteúdo**. 2.ed. Brasília: Liber livro editora, 2005.
- GOMBRAGE, Rafael; SILVA, Leandro Londero da. Concepções de alunos do ciclo básico sobre conceitos de radiação e radioatividade. **Revista Valore**, Volta Redonda, v. 6, p. 1481-1490, 2021.
- HALFEN, Renato Arthur Paim et al. Experimentos químicos em sala de aula utilizando recursos multimídia: uma proposta de aulas demonstrativas para o ensino de Química Orgânica. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 19, n. 2, p. 270-294, 2020.
- LIMA, Renato Alves de; SÁ, Roberto Araújo; VASCONCELOS, Flávia Cristina Gomes Catunda de. O uso de simulações PhET no ensino dos conceitos de ácido e base. *In: XII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, 20., 2019, Natal. **Anais** [...]. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019. p. 1-12.

LOCATELLI, Aline; ZOCH, Alana Neto; TRENTIN, Marco Antonio Sandini. TICs no ensino de química: um recorte do “estado da arte”. **Revista Tecnologias na Educação**, Minas Gerais, v. 7, n. 12, p. 1-12, 2015.

LOPES, Auxiliadora Cristina Correa Barata; CHAVES, Edson Valente. Animação como recurso didático no ensino da química: capacitando futuros professores. **Educitec-Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**, Manaus, v. 4, n. 07, 2018.

MACHADO, Adriano Silveira. Uso de softwares educacionais, objetos de aprendizagem e simulações no ensino de química. **Revista Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 104-111, 2016.

MARTINS, Sabrina Oliveira *et al.* O uso de simuladores virtuais na educação básica: uma estratégia para facilitar a aprendizagem nas aulas de Química. **Revista Ciências & Ideias**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 216-233, 2020.

MAYER, Richard E. **Multimedia learning**. New York: Cambridge University Press, 2001.

MAYER, Richard E.; MORENO, Roxana. Aids to computer-based multimedia learning. **Learning and instruction**, v. 12, n. 1, p. 107-119, 2002.

MAYER, Richard E.; MORENO, Roxana. A cognitive theory of multimedia learning: Implications for design principles. **Journal of educational psychology**, v. 91, n. 2, p. 358-368, 1998.

MENDONÇA, Priscilla Bibiano de Oliveira. A metodologia científica em pesquisas educacionais: pensar e fazer ciência. **Interfaces Científicas - Educação**, v. 5, n. 3, p. 87-96, 2017.

MORENO, Esteban Lopez; HEIDELMANN, Stephany Petronilho. Recursos instrucionais inovadores para o ensino de química. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 39, n. 1, p. 12-18, 2017.

MORESI, E. (Org.). Metodologia da Pesquisa. 2003. 108 f. Trabalho Científico (Especialização em Gestão do Conhecimento e Tecnologia da Informação) Universidade Católica de Brasília, 2003. Disponível em: <http://www.inf.ufes.br/~pdcosta/ensino/2010-2-metodologia-de-pesquisa/MetodologiaPesquisa-Moresi2003.pdf> . Acesso em: 02 mai. 2022.

MUSSI, Ricardo Franklin de Freitas *et al.* Pesquisa Quantitativa e/ou Qualitativa: distanciamentos, aproximações e possibilidades. **Revista Sustinere**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 414-430, 2019.

NEVES, Ricardo Ferreira das; CARNEIRO-LEÃO, Ana Maria dos Anjos; FERREIRA, Helaine Sivini. A imagem da célula em livros de Biologia: uma abordagem a partir da teoria cognitivista da aprendizagem multimídia. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 94-105, 2016.

OLIVEIRA, Carolyne Faria *et al.* Sequência didática: radioatividade no ensino de química com enfoque CTS. *In*: Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia, 4., 2014, Ponta Grossa. **Anais [...]**. Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/341844078_SEQUENCIA_DIDATICA_RADIOAT

IVIDADE NO ENSINO DE QUIMICA COM ENFOQUE CTS. Acesso em: 13 dez. 2021

OLIVEIRA, Saulo França *et al.* Softwares de simulação no ensino de atomística: Experiências computacionais para evidenciar micromundos. **Revista Química nova na escola**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 147-151, 2013.

PAULETTI, Fabiana. Entraves ao ensino de química: apontando meios para potencializar este ensino. **Revista Areté| Revista Amazônica de Ensino de Ciências**, Manaus, v. 5, n. 8, p. 98-107, 2017.

PERNAMBUCO. **Currículo de Pernambuco: Ensino Médio**. Secretaria de Educação e Esportes, União dos Dirigentes Municipais da Educação. Recife. 2021. 695p. Disponível em: http://www.educacao.pe.gov.br/portal/upload/galeria/523/CURRICULO_DE_PERNAMBUCO_DO_ENSINO_MEDIO_2021_ultima_versao_17-12-2021.docx.pdf Acesso em: 03 nov. 2022.

PINTO, Giovana Teixeira; MARQUES, Deividi Marcio. Uma proposta didática na utilização da História da Ciência para a primeira série do Ensino Médio: a radioatividade e o cotidiano. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, São Paulo, v. 1, p. 27-57, 2010.

REZENDE, Raquel Melo. **Revisão Bibliográfica da Didática do Ensino de Química em Escolas Públicas**. 2022. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Química, Instituto Federal Goiano - Campus Ceres, Ceres, 2022.

RIBEIRO, Angela A.; GRECA, Ileana M. Simulações computacionais e ferramentas de modelização em educação química: uma revisão de literatura publicada. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 542-549, 2003.

SANTOS, Cassiano Vasconcelos dos; KLEIN, Vanessa; BARIN, Claudia Smaniotto. Produção de material didático digital para o ensino de química: desafios e possibilidades. **Redin-Revista Educacional Interdisciplinar**, Taquara, v. 7, n. 1, 2018.

SIRHAN, Ghassan. Learning difficulties in chemistry: An overview. **Journal of TURKISH SCIENCE EDUCATION**, Trabzon, v.4, n.2, p.2-20, 2007.

SOUZA, Fábio de Oliveira *et al.* Simulações PhET: a teoria aliada à prática experimental nas aulas de química. **Zeiki-Revista Interdisciplinar da Unemat Barra do Bugres**, Barra dos Bugres, v. 1, n. 1, p. 19-35, 2020.

TARNOWSKI, Karoline Santos; LAWAL, Ivani Teresinha. A abordagem histórica da radioatividade em livros didáticos de química e física do PNLD 2018. **ScientiaNaturalis**, Rio Branco, v. 3, n. 2, p. 941-956, 2021.

TEZOTTO-ULIANA, Jaqueline V. *et al.* Radiação Gama em Alimentos de Origem Vegetal. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 7, n. 1, p. 267-277, 2015.

TREVISAN, Tatiana Santini; MARTINS, Pura Lúcia Oliver. A prática pedagógica do professor de Química: Possibilidades e Limites. **UNirevista**, São Leopoldo, vol. 1, n. 2, p. 1-12, 2006.

VASCONCELOS, Flávia Cristina Gomes Catunda. **Estratégia FlexQuest**: Possibilidades para a flexibilização do conhecimento. Curitiba: Appris, 2016.

VASCONCELOS, Flávia Cristina Gomes Catunda. Levantamento e análise das Simulações do PhET para o ensino e aprendizagem de Química. *In*: X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 5., 2015, Águas de Lindóia. **Anais [...]**. Águas de Lindóia: ABRAPEC, 2015. p. 1-8.

VASCONCELOS, Flávia Cristina Gomes Catunda; LEÃO, Marcelo Brito Carneiro. Utilização de recursos audiovisuais em uma estratégia flexquest sobre radioatividade. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 37-58, 2012.

VEIGA, Márcia S. Mendes; QUENENHENN, Alessandra; CARGNIN, Claudete. O ensino de química: algumas reflexões. *In*: I Jornada de Didática-O Ensino como FOCO-I Fórum de professores de Didática do Estado Do Paraná, 1., 2012, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2012.

ZANELLA, Liane Carly Hermes. **Metodologia da pesquisa**. 2 ed. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC, 2011.

APÊNDICE A – PLANO DE AULA COM TODAS AS ETAPAS DESENVOLVIDAS NA SEQUÊNCIA DIDÁTICA



Universidade Federal de Pernambuco

Campus do Agreste

Sequência Didática

Discente: Leandro de Lima Moraes

Orientadora: Profa. Dra. Flávia Cristina Gomes Catunda de Vasconcelos

Data: xx/xx/xx	Horário: xxxxxx	Duração: 180 min	Local e Sala: IFPE – Campus caruaru
Disciplina: Química		Turma: Edificações e mecatrônica – Cursos integrados	
Tema: Radioatividade: uma abordagem através da história com ênfase em suas principais aplicações			Nº de discentes: 10

Objetivo geral

Explorar a temática radioatividade a partir da história e as principais aplicações na sociedade, bem como suas implicações, além de permitir a interação com um software de simulação para interpretação do fenômeno à nível subatômico.

Objetivos específicos

- Desenvolver senso crítico frente as implicações da radioatividade na sociedade;
- Interagir com colegas a partir de discussões levantadas durante as aulas;
- Compreender o conceito de radioatividade, bem como suas aplicações;
- Relacionar os níveis representativos da ciência Química ao interpretar o fenômeno da radioatividade;
- Entender a diferença entre partículas alfa, partículas beta e raios gama;
- Refletir acerca da radioatividade, levantando questionamentos e buscando tecer relações com outras temáticas.

Primeira aula				
Duração	Conteúdo	Atividade do professor	Atividade dos alunos	Material e recurso didático
5 min	Rótulos de alimentos e o processo de irradiação	Irà iniciar a aula destacando as respostas sobre o que os estudantes entendem por radioatividade, pergunta essa disponibilizada de forma prévia dias antes do início da aula. Em seguida, será feita uma relação entre essas respostas com o que os estudantes acham do processo de irradiação. Posteriormente, irá abordar a temática através de uma aula expositivo-dialogada. Além disso, durante a reprodução do experimento na parte final da aula, o professor irá levantar perguntas de modo a fazer os estudantes refletirem a respeito das implicações das emissões de partículas radioativas.	Deverão interagir com o professor durante a abordagem do tema, levantando novos questionamentos e anotando as principais dúvidas para discussões posteriores. Além disso, será necessário que comecem destacando o que entendem por radioatividade conforme o que fora aprendido durante toda a sua vivência.	Computador ou notebook conectado à internet. Slides Vídeo intitulado “fizemos um detector de radiação caseiro”
15 min	Abordagem sobre radioatividade a partir dos acidentes que ocorreram ao longo da história, como o caso do cézio-137, chernobyl, garotas do radium e as bombas de Hiroshima e Nagasaki.			
5 min	Evidenciar como ocorreu a descoberta do rádio e do polônio por Pierre Currie e Marie Currie			
20 min	Evolução dos modelos atômicos e descoberta das partículas alfa, beta e gama.			

Materiais e recursos didáticos:

- Computador ou notebook conectado à internet
- Software de simulação
- Vídeo sobre o fenômeno em estudo

Conhecimento Prévio necessário

- Estrutura atômica
- Propriedades periódicas dos elementos

Estratégia e sequência de ensino

15 min	Demonstrar o experimento que rendeu um nobel (câmara de Wilson) através da reprodução de partes do vídeo intitulado “fizemos um detector de radiação caseiro” do canal Manual do mundo.			
Segunda Aula				
Duração	Conteúdo	Atividade do Professor	Atividade dos alunos	Material e recurso didático
20 min	Os isótopos e os tipos de emissão de emissão radioativa (alfa, beta e gama).	Irà abordar todo o assunto que envolve o tema radioatividade, perpassando por contextos em que a radioatividade costuma estar inserida. Além disso, irá explorar as simulações PhET sobre o tema, narrando o fenômeno que está acontecendo a nível submicroscópico e tecendo relações com o conteúdo abordado, objetivando promover a reflexão nos estudantes a respeito dos modos representativos que envolvem o conteúdo de radioatividade	Deverão prestar atenção e organizar as informações apresentadas durante a aula, de modo a que possam utilizar estas informações para construir o conhecimento sobre a temática. Além disso, irão resolver um teste de retenção disponibilizado após a aula.	Computador ou notebook conectado à internet. Slides Simulação PhET “decaimento alfa e decaimento beta”
15 min	Interação entre a radioatividade e a matéria.			
20 min	Radioatividade natural e tempo de meia vida			
20 min	Exploração das simulações “decaimento alfa” e “decaimento beta”, disponíveis na plataforma PhET.			
Terceira Aula				
Duração	Conteúdo	Atividade do professor	Atividade dos alunos	Material e recurso didático
45 min	Principais aplicações da radioatividade, descrevendo sobre energia nuclear, irradiação de alimentos, datação por carbono 14, aplicação na medicina, radiação de fundo e os efeitos biológicos da radioatividade.	Irà descrever as principais aplicações da radioatividade, tecendo relação com o conteúdo visto até então, ou seja, a parte conceitual. Além disso, durante a abordagem irá transitar entre os modos representativos, objetivando explicar os fenômenos de uma perspectiva simbólica e submicroscópica	Deverão interagir e responder um teste de transferência ao final da aula.	Computador ou notebook conectado à internet. Slides

Avaliação (para cada objetivo específico proposto)

A avaliação será realizada a partir da interação dos estudantes com a temática, ou seja, será analisado o comportamento e reação dos estudantes frente as apresentações multimídias utilizadas na abordagem do tema. E após o segundo momento da sequência didática será disponibilizado um teste de retenção para a resolução dos estudantes, objetivando verificar o quanto os estudantes recordam as informações presentes na sequência didática. Além disso, após o fim do terceiro encontro, ocorrerá a aplicação de um teste de transferência, que terá como objetivo verificar o quanto os estudantes conseguem organizar (mentalmente) as informações apresentadas, para resolver novos problemas.

Referências

MAYER, R. E. Multimedia learning. New York: Cambridge University Press, 2001.

BEZERRA, Marayza da Silva; VASCONCELOS, Flávia Cristina Catunda Gomes de. Estratégia didática com uso de simulação e experimentação para compreensão de fenômenos Químicos à luz da teoria cognitiva da aprendizagem multimídia. **Ensino na Educação Básica**, v. 3, p. 266-295, 2019.

Link do vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=rnA1tPgIgNI>

Link das simulações: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/alpha-decay
https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/beta-decay

EICHLER, Marcelo L.; CALVETE, Marcos Henrique Hahn; SALGADO, Tânia D. Miskinis. Módulos para o Ensino de Radioatividade. **Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (Material Didático)**, 1997.

VASCONCELOS, Flávia Cristina Gomes Catunda de. Levantamento e análise das Simulações do PhET para o ensino e aprendizagem de Química. X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC Águas de Lindóia, SP – 24 a 27 de Novembro de 2015

APÊNDICE B — QUESTIONÁRIO DE CONCEPÇÕES SOBRE O TEMA RADIOATIVIDADE



Licenciando: Leandro de Lima Morais

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Flávia Cristina Gomes Catunda de Vasconcelos

Concepções sobre o tema radioatividade

1 – Considerando as situações que você pode ter ouvido falar sobre Radioatividade, o que você acha que significa este termo?

2 - Em relação ao que compreende por radioatividade, você acredita que suas implicações na sociedade são benéficas, maléficas ou ambas? Por quê?

3 - No que diz respeito à aplicação da radioatividade, apresente alguns exemplos presentes em nosso dia a dia.

4 – Analisando os trechos do noticiário a seguir, você consegue explicar o porquê do governo japonês distribuir as cápsulas de Iodo para a população, após o acidente em Fukushima?

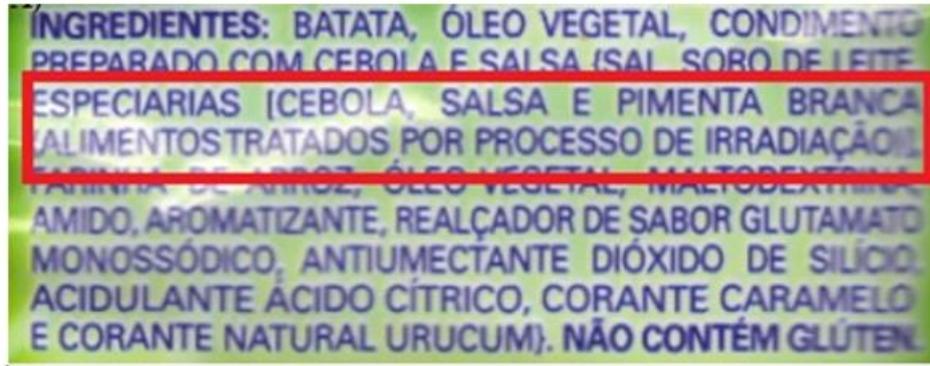
Japão distribui 230 mil unidades de iodo em abrigos próximos a usinas
14/03/2011 13h50

Da Reuters

O Japão forneceu 230 mil unidades de iodo estável para abrigos de pessoas que foram obrigadas a deixar suas casas por conta do terremoto seguido de tsunami do dia 11, como medida cautelar na emergência nuclear vivida no país, informou nesta segunda-feira (14) a agência de fiscalização atômica da ONU.

Fonte: <http://g1.globo.com/tsunami-no-pacifico/noticia/2011/03/japao-distribui-230-mil-unidades-de-iodo-em-abrigos-proximo-usinas.html>

5 – Analisando o rótulo de alimento a seguir, o consumo deste produto alimentício traria algum mal ao consumidor, mediante a informação de que ele contém ingredientes que passaram pelo processo de ‘irradiação’?



6 - Já assistiu algum filme, série ou animação que abordava sobre a radioatividade? Se sim, como a radioatividade era destacada? (algo bom, ruim, etc.)

Fonte: Elaboração Própria (2022)

APÊNDICE C — TESTE DE RETENÇÃO



Licenciando: Leandro de Lima Morais

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Flávia Cristina Gomes Catunda de Vasconcelos

Teste de Retenção

- 1 – O que são elementos classificados como isótopos e qual a sua importância para a sociedade?
- 2 - Tendo em vista que o átomo de ^{238}U sofre decaimento alfa, qual a característica das partículas emitidas e o que irá ocorrer com o núcleo do ^{238}U em cada emissão?
- 3 - Quais as principais diferenças entre as partículas alfa, beta, e os raios gama?
- 4 - Considerando as características das partículas alfa e beta, qual possui maior poder de penetração? Por quê?
- 5 - Observe a representação abaixo:



Qual é o tipo de partícula emitida pelo átomo está representada no esquema, e quais materiais ela consegue passar? Justifique sua resposta.

Fonte: Elaboração Própria (2022)

APÊNDICE D — TESTE DE TRANSFERÊNCIA



Licenciando: Leandro de Lima Morais

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Flávia Cristina Gomes Catunda de Vasconcelos

Teste de Transferência

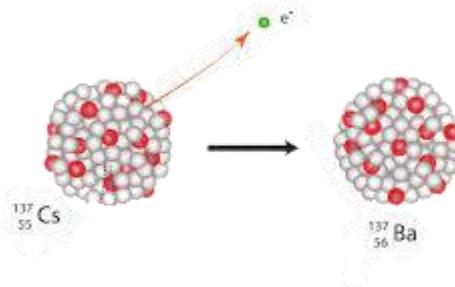
1 - (ENEM MEC/2012 - Adaptada) A falta de conhecimento sobre material radioativo e quais os efeitos, consequências e usos da irradiação pode gerar medo na população, e esta pode vir a tomar decisões equivocadas. Considerando, a afirmação simulada: “*Uma empresa de logística e transporte negou-se a entregar um carregamento de salgadinhos e outros produtos alimentícios por esses apresentarem no rótulo a informação de que foram tratados por um processo de irradiação*”, você considera que a atitude dos responsáveis pela empresa foi correta ou equivocada? Justifique com suas palavras.

2 - (PUC SP/2018 -, Adaptada) Em 2023, serão completados 35 anos do acidente com o Césio – 137, em Goiás, Brasil.



Fonte: anamt.org.br

O manuseio inadequado de um aparelho de radioterapia por catadores de lixo metálico, demonstrou a falta de conhecimento sobre materiais radioativos e os riscos a sua exposição à radiação. Esse manuseio expôs o sal contendo Césio-137 ao ambiente contaminando assim parte da população que moravam no entorno do ferro velho que armazenou o material radioativo, no município de Goiânia-GO. Considerando a representação do decaimento radioativo do Césio-137, a seguir



Qual o tipo de emissão nuclear que ocorre no átomo de Césio-137? E, em sua opinião, por que é utilizado o Chumbo nos aparelhos de Radioterapia?

3 - (ENEM-2016 - Adaptada) Pesquisadores recuperaram DNA de ossos de mamute (*Mammuthus primigenius*) encontrados na Sibéria, que tiveram sua idade de cerca de 28 mil anos confirmada pela técnica do carbono-14. Sabendo que ao sofrer decaimento o Carbono-14 se transmuta em Nitrogênio-14, que tipo de emissão nuclear é emitida neste fenômeno? O mesmo poderia acontecer com o Carbono-12?

4 - (ENEM-2017 - Adaptada) O avanço científico e tecnológico da física nuclear permitiu conhecer, com maiores detalhes, o decaimento radioativo dos núcleos atômicos instáveis, desenvolvendo-se algumas aplicações para a radiação de grande penetração no corpo humano, utilizada na medicina, como por exemplo, no tratamento do câncer. Tendo a informação de que a radiação de grande penetração mencionada no texto possui a capacidade de penetrar uma placa densa de aço, e pode ser contida por uma placa de Chumbo, a que tipo de radiação você acha que o texto se refere? Explique com suas palavras.

5 - (UEM-PR - Adaptada) No período do acidente em Chernobyl houve um aumento no consumo de pílulas de Iodo, as quais foram distribuídas para a população exposta a radiação. Explique com suas palavras, quais as justificativas químicas e biológicas para que ocorra esta ação de distribuição.